PROF. DR.-ING. KARL HUMBURG

DIE GLEICHSTROMMASCHINE

I.

SAMMLUNG GÖSCHEN

BAND 257

SAMMLUNG GÖSCHEN BAND 257

DIE GLEICHSTROMMASCHINE

von

DR.-ING. KARL HUMBURG
Professor an der Technischen Hochschule Hannover

I. Band

Mit 59 Abbildungen

Zweite, durchgesehene Auflage

WALTER DE GRUYTER & CO.
vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung · J. Guttentag,
Verlagsbuchhandlung · Georg Reimer · Karl J. Trübner · Veit & Comp.

BERLIN 1956

Alle Rechte, einschl. der Rechte der Herstellung von Photokopien und Mikrofilmen, von der Verlagshandlung vorbehalten

©

Copyright 1956 by
Walter de Gruyter & Co.,
Berlin W 35, Genthiner Str. 13

Archiv-Nr. 110257

Satz und Druck 1/10/14 Walter de Gruyter & Co.
5000/23/56

Inhalt des ersten Bandes

Seite

Verzeichnis der Bezeichnungen 5

I. Der Aufbau der Gleichstrommaschine 11

1. Allgemeines 11
2. Der Ständer 13
3. Der Ankerkörper 16
4. Die Ankerwicklung 18
5. Der Stromwender 23
6. Die Bürsten und Bürstenhalter 26
7. Die tragenden Maschinenteile 29
8. Die Lüftung 33

II. Die Ankerwicklung 34

1. Begriffe und Bezeichnungen 34
2. Wicklungsregeln 38
   a) Schleifenwicklung 38
   b) Wellenwicklung 39
   c) Lage und Polarität der Bürsten 41
   d) Verteilung der Leiter auf die Nuten 41
   e) Unregelmäßige Wellenwicklungen 42
   f) Treppenwicklung (Wicklung mit geteilten Spulen) 43
3. Induzierte Spannungen 44
4. Ausgleichsverbindungen 48
5. Entwurf einer Gleichstromwicklung 52
6. Stromdichte und Strombelag 53

III. Der magnetische Kreis der Hauptpole . . . 54

1. Die magnetischen Grundgesetze und Einheiten . . . 55
2. Die Berechnung der Erregung bei Leerlauf 57
   a) Der Luftspalt 59
   b) Die Ankerzähne 63
   c) Der Ankerkern 64
   d) Polkern und Joch 64
   e) Die Leerlaufkennlinie 65
3. Die Berechnung der Erregung bei Belastung 66
   a) Das Ankerfeld allein 66
   b) Das Gesamtfeld der belasteten Maschine (die Ankerrückwirkung) 69
4. Die Kompensationswicklung 71
5. Die Berechnung der Erregerwicklung 73

IV. Die Stromwendung 74
1. Die Dauer der Stromwendung 74
2. Die Stromwendespannung 78
3. Die Wendepole 80
4. Die Strom-Zeit-Kurven und die Bürstenspannungskurven 85
5. Bedingungen für gute Stromwendung 89
a) Bedingungen elektromagnetischer Art 89
b) Bedingungen mechanischer Art 94
6. Die Dämpfung 96
7. Die Rückwirkung der Kurzschlußströme auf das Hauptfeld 99
Schrifttum 101
Sachregister für Band I und II 102

Inhalt des zweiten Bandes

I. Das betriebsmäßige Verhalten der Gleichstrommaschine
1. Schaltung und Kennlinien von Gleichstrom-Erzeugern
2. Schaltung und Kennlinien von Motoren

II. Verluste und Wirkungsgrad
1. Berechnung
2. Messung

III. Die Erwärmung
1. Grenzen der zulässigen Erwärmung
2. Messung der Erwärmung
3. Berechnung der Erwärmung bei Dauerbetrieb
4. Zeitlicher Verlauf der Erwärmung

IV. Die Größenbemessung
1. Allgemeine Grundsätze
2. Die Entwurfsgleichung
3. Die Beanspruchungen
4. Regeln des Ebenmaßes
5. Die Typenreihe

V. Berechnungsbeispiel
1. Hauptabmessungen
2. Der Anker
3. Der Stromwender
4. Die Welle
5. Die Hauptpole
6. Die Wendepole
7. Wirkungsgrad

Verzeichnis der Bezeichnungen

A Strombelag.
A Ausladung der Ankerwicklung.
a Zahl der parallelen Kreise (halbe Zahl der par. Zweige).
B Magnetische Induktion.
B_a Magn. Induktion im Ankerkern
B_j „ „ im Joch.
B_k „ „ im Polkern.
B_l „ „ im Luftspalt.
B_0 Luftinduktion in der Polmitte.
B_1 B_2 Luftinduktion an den Polkanten.
B_m Mittlere Luftinduktion unter dem Hauptpol.
B_q Luftinduktion im Polzwischenraum (Querfeld).
B_w Wendefeldinduktion (B_{wg} für geradlinige Stromwendung, B_{wz} zusätzliche Wendefeldinduktion).
B_z Magnetische Induktion in den Zähnen (B_{zk} am Zahnkopf, B_{zm} in der Zahnmitte, B_{zg} am Zahnfuß).
B_{zs} Scheinbare Zahninduktion (ohne Berücksichtigung der Nebenwege).
b Breite oder Bogen (Maße in Richtung des Ankerumfangs).
b_n Nutenweite.
b_k Bürstenbreite, b_k' auf den Ankerumfang umgerechnete Bürstenbreite.
b_k Polkernbreite.
b_p Polbogen.
b_{pi} Ideeller Polbogen.
b_{wi} Ideelle Breite der Wendepole.
b_{wz} Breite der Wendezone.
b_z Zahnbreite (b_{zk} am Zahnkopf, b_{zm} in der Zahnmitte, b_{zg} am Zahnfuß).
C Ausnützungszahl.
D Durchmesser.
D_a Ankerdurchmesser.
D_i Innerer Durchmesser des Ankers.
D_k Stromwenderdurchmesser.
d Wellendurchmesser.
E Induzierte Spannung (= EMK).

e In einem Wicklungselement induzierte Spannung.
e_a Ankerfeldspannung.
e_r Stromwendespannung (Reaktanzspannung).
e_w Wendefeldspannung.
e_{st} Stegspannung (induzierte).
F Fläche (F_b Bürstenübergangsfläche).
f Frequenz, insbesondere Ummagnetisierungsfrequenz.
f_n Nutenfrequenz.
G Gewicht (G_a des Ankers, G_k des Stromwenders).
G_e Eisengewicht (G_{ak} Eisengewicht des Ankerkernes, G_{az} Eisengewicht der Ankerzähne).
G_k Kupfergewicht (G_{ka} der Ankerwicklung, G_{ke} der Erregerwicklung, G_{kw} der Wendepolwicklung).
H Magnetische Feldstärke.
H_a Magn. Feldstärke im Anker.
H_j „ „ im Joch.
H_k „ „ im Polkern.
H_z „ „ in den Ankerzähnen (H_{zk} am Zahnkopf, H_{zm} in der Zahnmitte, H_{zg} am Zahnfuß).
h Höhe (Maße in radialer Richtung).
h_n Nutentiefe.
h_a Ankereisenhöhe.
h Wärmeabgabezahl (h_a für den Anker, h_k für den Stromwender, h_e für die Erregerwicklung, h_w für die Wendepolwicklung).
h_0 Fiktive Wärmeabgabezahl bei Stillstand.
I Strom.
I_a Ankerstrom.
I_a Arbeitsstrom.
I_k Kurzschlußstrom.
I_{ks} Stoßkurzschlußstrom.
I_n Nennstrom.
i_e Erregerstrom.
i_g Gegenerregung.
i_m Magnetisierungsstrom ($i_m = i_e - i_g$).
k Zahl der Stromwenderstege.
k_C Carter'scher Faktor (k_{Cw} für die Wendepole).
k_p Papierfaktor.
L Länge (Maße in Richtung der Maschinenachse), insbesondere Ankereisenlänge ohne Lüftungsschlitze.
L_a Ankereisenlänge mit Lüftungsschlitzen.
L_i Ideelle Ankerlänge.
L_p Poleisenlänge.

L_e Länge der Lüftungsschlitze.
L_m Mittlere Windungslänge (L_{me} der Erregerwicklung, L_{mw} der Wendepolwicklung).
L_s Länge einer Stirnverbindung.
l Länge, insbesondere Kraftlinienlänge.
l_a Kraftlinienlänge im Anker (je Pol).
l_j „ im Joch „
l_k „ im Polkern.
M Moment, insbesondere Drehmoment (M_d Drehmoment, M_b Biegungsmoment, M_c kombiniertes Moment).
M_i Inneres Drehmoment.
M_n Nenn-Drehmoment.
N Leistung.
N_i Innere Leistung.
N_n Nennleistung.
N_v Verlustleistung.
n Drehzahl.
n_0 Leerlaufdrehzahl.
n_n Nenndrehzahl.
O Abkühlende Oberfläche (O_a des Ankers, O_k des Stromwenders, O_e der Erregerwicklung, O_w der Wendepolwicklung).
P Kraft, Druck.
P_m Magnetischer Zug.
P_r Riemenzug.
p Druck je Flächeneinheit.
p Polpaarzahl.
Q Querschnitt, insbesondere magnetisch leitende Querschnitte.
Q_a Querschnitt des Ankerkernes.
Q_j „ des Joches.
Q_k „ des Polkernes.
Q_z „ eines Zahnes.
Q_n „ der Nebenwege je Zahn.
q Querschnitt, insbesondere elektrisch leitende Querschnitte.
q_e Drahtquerschnitt der Erregerwicklung.
R Ohmscher Widerstand.
R_a Widerstand der Ankerwicklung.
R_e „ der Erregerwicklung.
R_w „ der Wendepolwicklung.
s Stromdichte (s_e in der Erregerwicklung).
T Zeitabschnitt, insbesondere Erwärmungszeitkonstante (T_E für Erwärmung, T_A für Abkühlung), auch Dauer einer Periode.
T_k Dauer der Stromwendung (Kurzschlußdauer) eines Wicklungselementes.

T_{kn} Dauer der Stromwendung in einer Nut.
Zeit (laufende).
t Teilung.
t_n Nutenteilung (t_{nk} am Zahnkopf, t_{nm} in der Nutenmitte, t_{ng} am Nutengrunde).
t_k Stromwender-Stegteilung (t'_k auf den Ankerumfang umgerechnet).
t_p Polteilung.
t_{pk} Polteilung am Stromwenderumfang.
U Spannung (Klemmenspannung).
U_a Arbeitsspannung.
U_0 Leerlaufspannung.
U_n Nennspannung.
U_e Spannung an der Erregerwicklung.
u_b Bürstenübergangsspannung (u_{bo} an der auflaufenden Kante, u_{bn} an der ablaufenden Kante).
u_{st} Stegspannung.
u Zahl der Stromwenderstege je Nut.
V Magnetische Spannung.
V_a Magn. Spannung für den Anker (je Pol).
V_j „ „ „ das Joch (je Pol).
V_k „ „ „ den Polkern.
V_l „ „ „ den Luftspalt.
V_z „ „ „ die Zähne.
V_0 „ „ „ Luft und Zähne in der Polmitte.
V_w „ „ „ den Wendepolkreis je Pol.
V Verlustleistung.
V_e Eisenverlust.
V_{err} Erregungsverlust.
V_k Stromwärmeverlust (V_{ka} im Anker, V_{kw} in der Wendepolwicklung).
V_r Reibungsverlust (V_{rb} Bürstenreibung, V_{rl} Lagerreibung).
V_v Luftreibungsverlust (Ventilationsverlust).
$V_{ü}$ Übergangsverlust am Stromwender.
V_z Zusatzverlust.
v_{10} Verlustziffer (v_h Hysteresisanteil, v_w Wirbelstromanteil).
v Umfangsgeschwindigkeit.
v_a Anker-Umfangsgeschwindigkeit.
v_k Stromwender-Umfangsgeschwindigkeit.
W Widerstandsmoment.
w Windungszahl.
w_a Zahl der in einem Ankerwicklungszweig in Reihe geschalteten Windungen.

w_e Windungszahl der Erregerwicklung je Pol.
w_w Windungszahl der Wendepolwicklung je Pol.
w Zahl der Windungen je Wicklungselement.
x_b Bürstenverschiebung.
y Wicklungsschritt, insbesondere Gesamtschritt (Stromwenderschritt).
y_1 Erster Teilschritt (Spulenweite).
y_2 Zweiter Teilschritt (Schaltschritt).
y_f Feldschritt.
y_n Nutenschritt.
y_v Schritt der Ausgleichsverbindungen.
y' Hilfsfaktor zur Berechnung des Carterschen Faktors.
Z Nutenzahl.
α Polbedeckungsfaktor.
α_i Ideeller Polbedeckungsfaktor.
γ Spezifisches Gewicht.
δ Luftspalt, insbesondere unter den Hauptpolen.
δ_w Luftspalt unter den Wendepolen.
ε_k Schrittverkürzung.
ζ Pichelmayer'sche Kommutierungskonstante.
η Wirkungsgrad.
θ Durchflutung.
θ_a Durchflutung der Ankerwicklung je Pol (d. h. für die halbe Polteilung).
θ_e Durchflutung der Erregerwicklung je Pol (θ_{e0} bei Leerlauf).
θ_g Gegendurchflutung.
θ_q Vergrößerung der erforderlichen Erregerdurchflutung durch das Querfeld.
θ_u Nutdurchflutung.
θ_w Durchflutung der Wendepolwicklung je Pol.
ϑ Temperatur (ϑ_0 Oberflächentemperatur).
$\vartheta_{\ddot{u}}$ Erwärmung (Übertemperatur).
$\vartheta_{\ddot{u}o}$ Erwärmung der Oberfläche.
$\vartheta_{\ddot{u}m}$ Mittlere Wicklungserwärmung.
$\vartheta_{\ddot{u}a}$ Erwärmung der Ankerwicklung.
$\vartheta_{\ddot{u}k}$ „ des Stromwenders.
$\vartheta_{\ddot{u}e}$ „ der Erregerwicklung.
$\vartheta_{\ddot{u}w}$ „ der Wendepolwicklung.
μ Reibungsziffer.
μ Permeabilität.
μ_0 Permeabilität des leeren Raumes.
ξ Verhältnis des von einer kurzgeschlossenen Spule umfaßten Flusses zum gesamten Fluß eines Poles.

ϱ Spezifischer Widerstand.
σ Mittlerer Drehschub.
σ_b Biegungsbeanspruchung.
Φ Magnetischer Fluß, insbesondere Fluß eines Poles.
Φ_0 Magnetischer Fluß bei Leerlauf.
Φ_z Fluß in einem Zahn.
Φ_σ Streufluß.

I. Der Aufbau der Gleichstrommaschine

1. Allgemeines

Eine Gleichstrommaschine (Bild 1 u. 2) besteht aus elektrisch oder magnetisch wirksamen (aktiven) und anderen nur tragenden (inaktiven) Maschinenteilen. Aktive Maschinenteile sind: der Ständer oder das Magnetgestell (*M* in Bild 2) mit Hauptpolen (*H*) und Wendepolen (*W*), der Anker (*A*), der

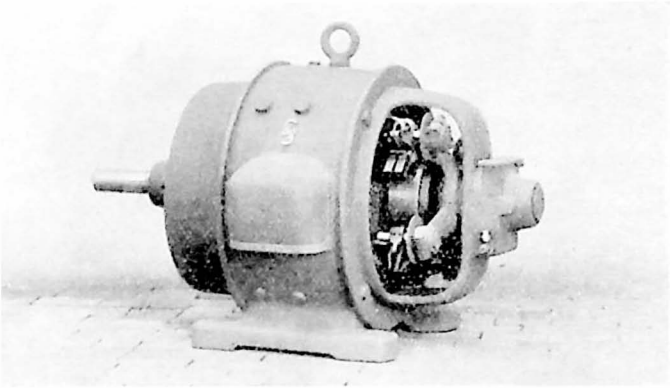

Bild 1. Gleichstrommaschine offener Bauart mit Schildlagern.

Stromwender oder Kommutator (*K*) und der Bürstenträger (*B*). Tragende Maschinenteile sind die Grundplatte oder die Lagerschilde (*L*) mit den Lagern und die Welle.

Die Ankerwicklung ist das Herz der Maschine. In ihr wird die Spannung induziert, in ihr fließt der Hauptstrom der Maschine, in ihr wird demgemäß die gesamte Leistung der Maschine umgesetzt. Die Spannung wird induziert durch die Be-

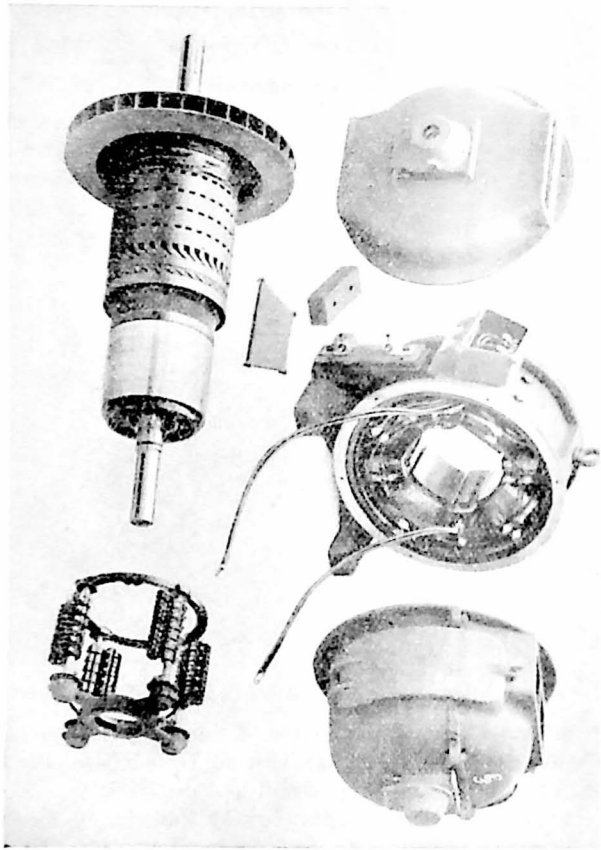

Bild 2. Gleichstrommaschine mit Schildlagern in ihre Einzelteile zerlegt.

wegung des Ankers in dem magnetischen Feld der Maschine, zu dessen Führung die Eisenteile des Ankers (das Blechpaket) und des Ständers (die Hauptpole und das Joch) erforderlich sind und zu dessen Erregung die Hauptpolwicklung dient.

Nur bei den Unipolar-Maschinen, die hier wegen ihrer praktischen Bedeutungslosigkeit nicht weiter behandelt werden sollen, wird in der Ankerwicklung durch ein unipolares Magnetfeld unmittelbar eine Gleichspannung induziert. Bei den allein gebräuchlichen Wechselpol-Maschinen (Maschinen mit abwechselnd aufeinander folgenden Nord- und Südpolen) wird dagegen in der Ankerwicklung eine Wechselspannung induziert. Zur Umwandlung dieser Wechselspannung in eine Gleichspannung dient der Stromwender, von dem der Strom durch die Bürsten abgenommen wird.

Der im äußeren Stromkreis fließende Gleichstrom wird durch den Stromwender in solcher Weise der Ankerwicklung zugeführt bzw. aus ihr entnommen, daß sich in den einzelnen Spulen dieser Wicklung zu gewissen Zeiten die Richtung des Stromes umkehrt. Um zu vermeiden, daß sich an den Bürsten Funken bilden, die eine rasche Abnützung des Stromwenders und der Bürsten zur Folge haben würden, müssen die Ankerspulen während dieser Stromwendezeiten durch ein besonderes magnetisches Feld, das Wendefeld, beeinflußt werden, welches in den Wendepolen geführt und durch die Wendepolwicklung erregt wird.

2. Der Ständer

Der Ständer einer Gleichstrommaschine (das Magnetgestell) besteht aus dem Joch und den Polen mit ihren Wicklungen. Das Joch wird bei kleineren Maschinen meist aus Gußeisen (Dynamoguß), bei großen vielpoligen Maschinen der Festigkeit wegen aus Stahlguß hergestellt, neuerdings auch aus Walzstahl gebogen und durch Lichtbogenschweißung zusammengefügt.

Die Hauptpole werden meist aus Blechen (Dynamoblech 0,5 oder 1,0 mm stark) aufgebaut und durch Niete zusammengehalten. Notwendig ist der Aufbau aus Blechen eigentlich nur für die Polschuhe, in welchen durch den Vorbeigang der Nuten und Zähne des Ankers Schwankungen des magnetischen Feldes und dadurch Wirbelströme entstehen, welche bei massiven Polen einen recht erheblichen Leistungsverlust bedingen

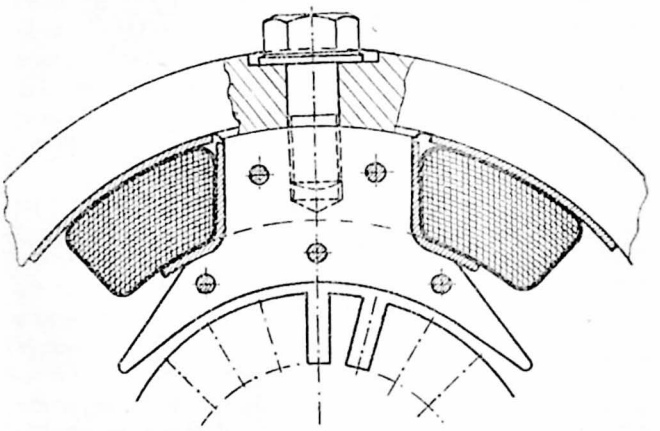

Bild 3. Hauptpolwicklung einer kleineren Gleichstrommaschine.

würden. Man kann deshalb auch Polkerne aus Dynamostahl verwenden, an welche geblechte Polschuhe mit Schrauben angesetzt werden. Doch ist diese Bauart weniger einfach als die ersterwähnte; sie wird deshalb seltener angewendet. Die Pole werden durch Schrauben, die durch das Joch hindurchgehen, am Joch befestigt. Das Muttergewinde für diese Schrauben kann auch bei geblechten Polen einfach in den Polkern, also in das Blechpaket eingeschnitten werden.

Die Hauptpolwicklung, die vor dem Anschrauben der Pole auf die Polkerne aufgeschoben wird, ist bei kleinen Maschinen

eine einzige Spule je Pol, die mit Band bewickelt wird und deren Querschnittform sich dem verfügbaren Raum, also der Innenform des Joches, anpaßt (Bild 3). Bei großen Maschinen wird sie der besseren Abkühlung wegen in mehrere Spulen je Pol unterteilt oder als Röhrenspule ausgeführt (Bild 4) und der mechanischen Festigkeit wegen oft auf besondere Spulen-

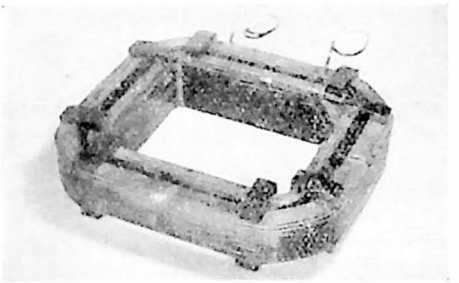

Bild 4. Hauptpolwicklung einer größeren Maschine (Röhrenspulen).

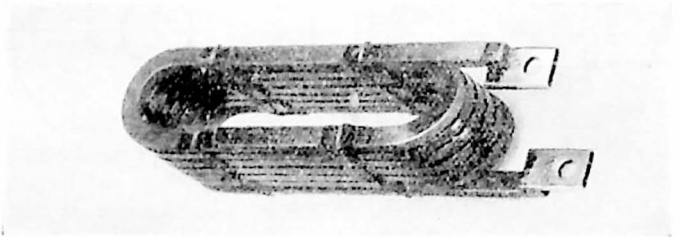

Bild 5. Blanke Wendepolspule.

kästen aufgewickelt. Sie ist entweder eine dünndrähtige Nebenschlußwicklung oder, besonders bei Bahnmotoren, Kranmotoren u. dgl., ferner bei ganz kleinen Motoren, eine Reihenschlußwicklung. Oft werden beide Wicklungsarten miteinander verbunden (Verbundwicklung), d. h. es wird außer einer

Nebenschlußwicklung auch noch eine Reihenschlußwicklung (oft nur wenige Windungen) angewendet.

Die Wendepole bestehen meist aus massivem Eisen und werden ebenfalls durch Schrauben am Joch befestigt. Ihre Wicklung wird bei kleinen Maschinen ähnlich wie die Hauptpolwicklung aus isolierten Leitern (meist Flachdrähten) in mehreren Lagen hergestellt, bei großen Maschinen jedoch häufig als einlagige Spule aus blankem Kupfer (Bild 5).

3. Der Ankerkörper

Der Ankerkern (das Blechpaket) wird aus 0,5 mm starkem, mit dünnem Papier beklebtem Dynamoblech hergestellt. Bis zu 1000 mm ⌀ können die Bleche aus einem Stück rund geschnitten werden. Bei ganz kleinen Ankern verwendet man

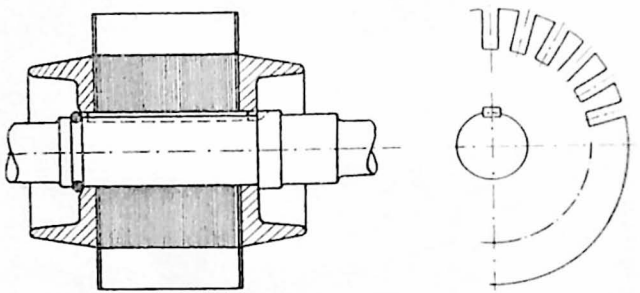

Bild 6. Kleiner Anker.

„Ganzschnitte", d. h. Nuten, Lüftungslöcher, Achsloch und Keilnut werden gleichzeitig mit dem Rundschnitt in einem Arbeitsgang durch Stanzen hergestellt. Bei größeren Maschinen werden die dafür erforderlichen Stanzwerkzeuge zu teuer; dann werden die Löcher, insbesondere die Nuten, nachträglich auf einer mit Teilkopf versehenen Maschine eingestanzt („Nutenschnitt"). Bei mehr als 1000 mm ⌀ muß das

Blechpaket aus einzelnen Blechsegmenten aufgebaut werden. Um die Blechtafeln möglichst gut auszunützen, tut man dies manchmal auch schon bei kleineren Maschinen. Die Blechsegmente werden mit Überlappung aufeinandergeschichtet und durch isolierte Bolzen zusammengehalten. Unisolierte Bolzen sind zulässig, wenn sie ganz am inneren Rande des Blechpaketes liegen; die Bolzenlöcher werden dann geschlitzt. Auch Schwalbenschwanzlineale werden zur Befestigung der Bleche verwendet (Bild 7).

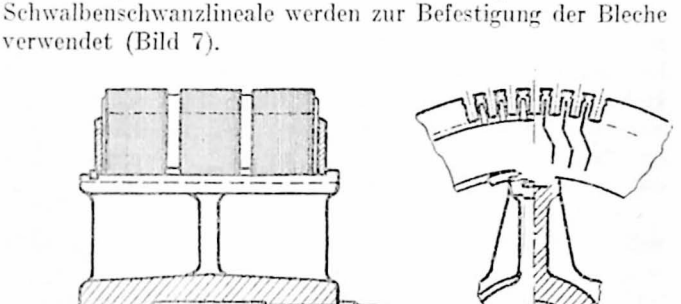

Bild 7. Ankerkörper einer großen Maschine.

Das Blechpaket wird durch zwei Preßplatten (Bild 6 u. 7) zusammengehalten. Bei den kleinsten Maschinen sitzt es unmittelbar auf der Welle und wird mitsamt den Preßplatten (u. U. genügen hier starke Endbleche) mit Preßsitz auf die gerieffte Welle aufgepreßt. Bei etwas größeren Maschinen wird die Preßplatte gesichert durch Springringe, die federnd in eine Eindrehung der Welle eingreifen. Auf einer Seite kann auch ein Bund auf der Welle an die Stelle dieses Springringes treten (Bild 6). Gegen Verdrehung wird das Blechpaket durch eine Paßfeder gesichert.

Bei mittleren und größeren Maschinen wird das Blechpaket

von einem „Ankerstern" getragen, der aus einer Nabe mit Rippen besteht, und der gegossen oder aus Walzstahl zusammengeschweißt sein kann. In diesem Fall legt sich die eine Preßplatte gegen Nasen an den Rippen dieses Sternes, die andere wird durch Splinte festgehalten (Bild 7).

Zur Kühlung werden bei kleinen Maschinen nur axiale Lüftungslöcher vorgesehen, bei großen auch Lüftungsschlitze, welche den Ankerkern in mehrere einzelne Blechpakete unterteilen. Die Einzel-Blechpakete werden durch starke Endbleche abgeschlossen. An diese werden Distanzstücke in der Höhe der gewünschten Lüftungsschlitzbreite (meist 10 mm) angenietet. Auch Druckfinger, welche das Auseinanderbiegen der Zähne an den Blechen verhindern sollen, werden in derselben Weise an die Endbleche angenietet.

An den Preßplatten werden die Wicklungsträger befestigt, welche zur Auflage der aus den Nuten herausragenden Wicklungsteile (des „Wicklungskopfes") dienen. Diese Wicklungsträger enthalten meist auch die Nuten zur Aufnahme der Ausgleichsgewichte, durch welche der Schwerpunkt und die Trägheitsachse des Ankers in die Umdrehungsachse gebracht werden.

4. Die Ankerwicklung

Bei kleinen zweipoligen Maschinen werden die Spulen unmittelbar auf den Ankerkörper gewickelt (Bild 8). Obwohl dies heute meist auf besonderen Maschinen ausgeführt wird, nennt man diese Wicklungsart nach dem früheren Herstellungsverfahren „Handwicklung".

Bei allen größeren Maschinen, meist schon bei den kleinsten vierpoligen, werden außerhalb des Ankers geformte und isolierte Wicklungsteile fertig in die Nuten eingelegt. Man unterscheidet dabei Spulenwicklung (oder Schablonenwicklung) und Stabwicklung. Wenn ein Wicklungselement (vgl. S. 35) aus mehreren Windungen besteht, wird die Wicklung aus Spulen (Bild 9) zusammengesetzt, welche aus Runddraht

oder Flachdraht auf besonderen Vorrichtungen (Schablonen) gewickelt werden. Als Schablonen benützt man entweder feste aus Holz oder Metall hergestellte Formen, auf welche die

Bild 8. Handwicklung.

Bild 9. Schablonenspule.

Spulen gleich in der gewünschten Form gewickelt werden, oder sog. Scherenschablonen (Bild 10), auf welchen die Spulen in einer Ebene (entsprechend einer durch die Ankerachse gelegten Ebene) gewickelt und dann auf die notwendige Weite senkrecht zu dieser Ebene ausgezogen werden. Beim Einlegen der Spulen in den Anker wird zunächst eine Anzahl Spulen

nur mit den in den Nuten unten liegenden Spulenseiten eingelegt (Bild 11), bis man zu einer Spule kommt, deren Oberseite über eine schon eingelegte untere Spulenseite zu liegen kommt. Nach dem Einlegen der letzten Spulen werden dann die oberen Spulenseiten der zuerst eingelegten Spulen an ihren Platz gebracht (Bild 12).

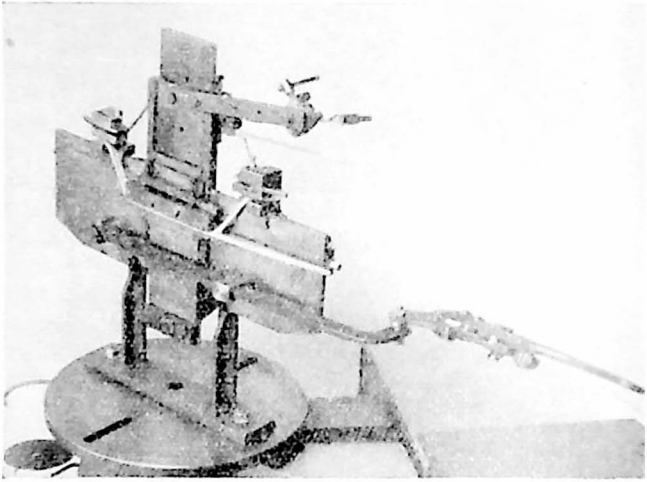

Bild 10. Scherenschablone

Wicklungen mit nur einer Windung je Wicklungselement nennt man Stabwicklungen (Bild 13). Bei ihnen werden die Stäbe meist einzeln in die erforderliche Form gebogen, isoliert und in die Nuten eingelegt. Die Stabenden werden dann nachträglich nach dem Wicklungsschema durch Zwingen verbunden und verlötet. Nur bei kleineren Maschinen werden zusammengehörige Ober- und Unterstäbe wie bei einer Spulenwicklung gebogen, um die Lötstellen auf einer Seite des Ankers zu sparen.

Gegen die Fliehkräfte sichert man die Wicklung innerhalb der Nuten bei kleinen Maschinen durch Bandagen aus Stahl-

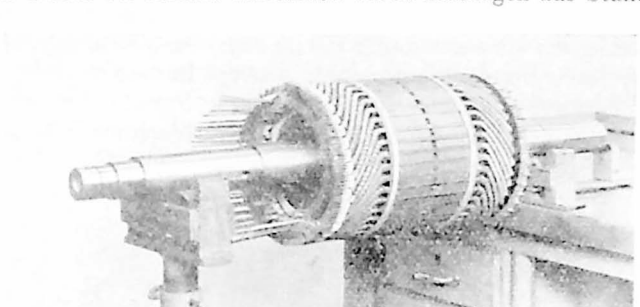

Bild. 11. Einlegen der ersten Spulen in die Nuten.

Bild 12. Einlegen der letzten Spulen in die Nuten.

draht, bei großen durch Nutenkeile aus Holz oder Fiber. Außerhalb der Nuten werden stets Bandagen angewendet,

welche oberhalb der Wicklungsträger angeordnet werden und den Wicklungskopf auf diese pressen (Bild 14).

Isolierung der Wicklung. Man unterscheidet die Isolierung der einzelnen Leiter (Draht- oder Stabisolierung) und die Isolierung der Spulenseiten voneinander und vom Eisen (Spulenisolierung und Nutenisolierung). Nur die Isolierung der Spulenseiten muß für die volle Maschinenspannung bemessen sein.

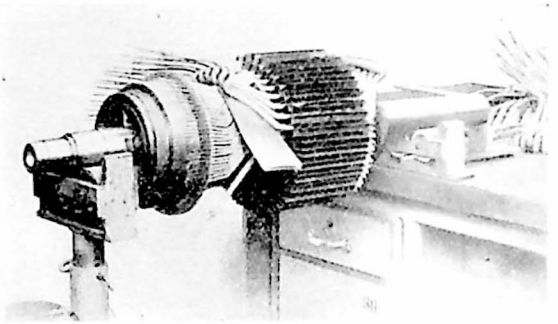

Bild 13. Stabwicklung.

Runddrähte oder Flachdrähte werden meist mit Baumwolle zweimal besponnen, Stäbe werden mit Baumwolle einmal besponnen und einmal beflochten oder mit Baumwollband oder Papierband überlappt umwickelt. Die fertig gewickelten Spulen oder Stabbündel werden mit Ölleinen oder dgl. umwickelt oder mit Preßspan umhüllt und dann noch weitläufig mit Baumwollband bewickelt. Noch besser ist eine Umpressung mit Glimmerpapier. Die Spulenisolation kann teilweise durch eine Nutenisolation ersetzt werden, die schon vor dem Einbringen der Spulen in der Nut liegt. Eine schwache Auskleidung der Nut mit Preßspan dient zur Schonung der Spulenisolation beim Einlegen. Zum Schutz gegen Feuchtigkeit und

Staub werden die Spulen vor dem Einlegen mit einem Isoliermittel getränkt und der ganze Anker nach Fertigstellung mit Isolierlack bespritzt oder getaucht. Die ganze Spulenisolation beansprucht bei normalen Spannungen (bis zu etwa 400 Volt) einschl. Spielraum in der Breite 1,4 bis 1,6 mm, in der Höhe 2,8 bis 4 mm. Erst bei höheren Spannungen muß sie verstärkt werden, ebenso bei Maschinen für Verwendung in besonders feuchten Räumen oder in den Tropen.

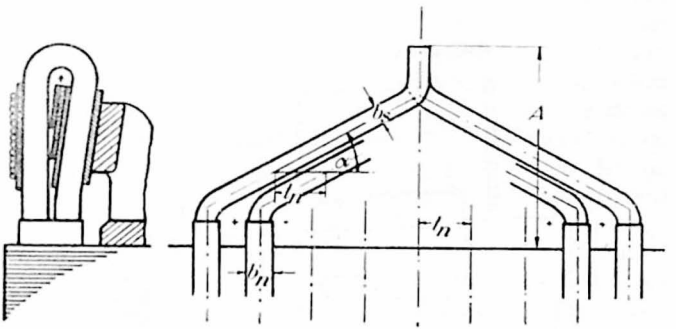

Bild 14. Wicklungskopf.

Außerhalb der Nut kann die Isolierung schwächer gehalten werden; die Nutauskleidung fällt fort, und von der Spulenisolierung bleibt meist nur eine Bandbewicklung übrig. Nach der Stärke der Leiterbündel außerhalb der Nut (b_s in Bild 14) richtet sich der Winkel, den die Verbindungen mit der Ankerachse bilden und damit die Ausladung der Wicklung (A in Bild 14).

5. Der Stromwender

Der Stromwender (Bild 15) besteht aus einer größeren Anzahl von „Stromwenderstegen" oder Lamellen, die zusammen den sog. Stromwenderbelag bilden, und dem Stromwender-

körper (Buchse mit Druckring), durch den der Belag zusammengehalten wird.

Die Stromwenderbuchse wird bei kleinen und mittleren Maschinen neben dem Anker auf die Welle gesetzt, manchmal auch auf die verlängerte Ankernabe; bei ganz großen kommt es auch vor, daß sie am Ankerstern befestigt wird.

Die Stege werden aus Kupfer gewalzt oder hart gezogen; ihr Profil muß sehr genau stimmen. Beim Aufbau des Belages

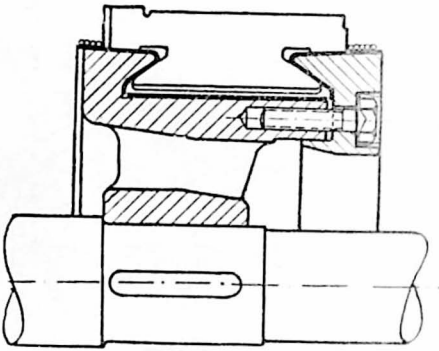

Bild 15. Stromwender einer mittleren Maschine.

werden die Stege mit zwischengelegten Isolierscheiben aus Weißmikanit (mit sehr wenig Schellack zusammengeklebte Glimmerplättchen) in einer Spannvorrichtung gefaßt und innen schwalbenschwanzförmig ausgedreht. Der Schwalbenschwanz wird dann durch zwei Druckringe gefaßt, von denen einer mit der Stromwenderbuchse aus einem Stück bestehen kann. Zwischen dem Stromwenderbelag und den Druckringen werden Isolierringe aus Braunmikanit (mit viel Schellack) oder Hartpapier eingefügt, welche in den entsprechenden V-Querschnitt gepreßt werden. Die Druckringe können mittels durchgehender Bolzen oder einzelner Kopf-

schrauben (Bild 15) angezogen werden, bei kleinen Stromwendern auch durch eine über die Stromwenderbuchse geworfene Ringmutter. Bei ganz kleinen Stromwendern wird der Belag in eine isolierende Preßmasse eingebacken.

Die Druckringe müssen vor allem mit der Kegelfläche, welche den Belag nach innen preßt, fest aufliegen. Die Außenseite der Druckringe erhält nur einen sehr schwachen Anzug. Sie preßt sich dadurch an die Stege an und sorgt für einen staubdichten Abschluß des Stromwenders. Man kann auch den Druckring außen zylindrisch halten und dem Belag hier etwas Spiel geben. Dann muß die Fuge zwischen Belag und Druckring durch eine Deckisolation abgedichtet werden. Zwischen der Innenfläche des Belages und der von einem Isolierzylinder umhüllten Buchse kann auch ein größerer Spielraum bleiben. Hier steht dann die Stegisolation etwas vor. An der Außenfläche des Stromwenders darf dagegen die Stegisolation nicht vorstehen. Sie wird hier meist ausgekratzt oder ausgesägt. An den Enden der Stromwenderstege muß die Körperisolation vorstehen, und zwar um so mehr, je höher die Maschinenspannung ist. Sie wird hier durch Schnurbandagen festgehalten.

Mit der Wicklung werden die Stromwenderstege durch Streifen aus Kupferblech (sog. Fahnen) verbunden. Die Fahnen werden in Schlitze der Stromwenderstege eingelötet und am anderen Ende durch Zwingen mit den Ankerstäben verbunden. Bei kleinen Maschinen, bei denen der Durchmesser des Stromwenders oft nicht kleiner ist als der des Ankers, können auch die Enden der Wicklungselemente (Stäbe oder Drähte) unmittelbar in die Schlitze der Stromwenderstege eingelötet werden.

Stromwender für große Stromstärken werden oft so lang, daß die Stege aus Festigkeitsrücksichten eine Höhe erhalten müßten, die wegen des Kupferverbrauchs unerwünscht ist. Sie werden dann in zwei Stromwender aufgeteilt, die durch Zwischenfahnen miteinander verbunden werden.

Sehr rasch laufende Stromwender (bei Turbo-Generatoren), die meist ebenfalls eine bedeutende Länge haben, werden nicht durch V-Ringe von innen, sondern durch Schrumpfringe von außen gehalten (Bild 16).

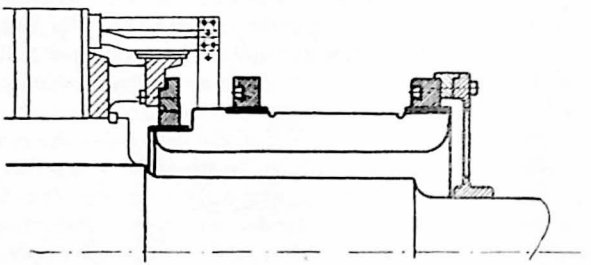

Bild 16. Turbo-Stromwender.

6. Die Bürsten und Bürstenhalter

Zur Abnahme des Stromes von dem umlaufenden Stromwender dienen die Bürsten, die früher wirklich wie Drahtbürsten aus Kupferdrähten hergestellt wurden und daher noch heute diesen Namen behalten haben. Sie bestehen heute durchwegs aus künstlicher Kohle, deren Herstellung eine Spezialindustrie beschäftigt. Die vielen Sorten dieser Kohlen lassen sich in vier Gruppen zusammenfassen:

a) Harte Kohlen, hergestellt aus feingemahlener Retortenkohle, die mit Zusatz von Bindemitteln im Ofen gepreßt wird. Diese billigen Kohlen werden für Stromwender mit mäßiger Umfangsgeschwindigkeit und geringer Strombelastung verwendet (kleine Maschinen, auch hohe Spannungen). Fügt man dem Rohstoff Graphit hinzu, so erhält man sog. mittelharte Kohlen, die schon etwas größere Strombelastung vertragen

b) Graphitkohlen, hergestellt in ähnlicher Weise wie die harten Kohlen, jedoch aus Naturgraphit. Diese Kohlen ver-

tragen größere Strombelastung und höhere Umfangsgeschwindigkeit und haben sehr geringe Reibung. Ihr Verwendungsgebiet sind große und rasch, aber ruhig laufende Maschinen.

c) Elektrographitierte Kohlen (Edelkohlen) werden aus Retortenkohle ähnlich den harten Kohlen hergestellt, dann aber im Elektroofen mittels Stromdurchgang hochgeglüht, wobei die schmirgelnden Verunreinigungen ausgetrieben werden und die Kohle einschließlich des verkokten Bindemittels in Graphit verwandelt wird. Diese hochwertigen Kohlen vereinigen die mechanische Festigkeit der harten Kohlen mit einer fast ebenso hohen Strombelastbarkeit, wie die der Graphitkohlen. Sie werden in allen schwierigen Fällen, wie bei rasch und unruhig laufenden Maschinen verwendet, besonders auch bei Bahnmotoren.

d) Metallhaltige Kohlen (Bronzekohlen und Kupferkohlen) kommen auf Gleichstrommaschinen nur bei ganz niedrigen Spannungen in Betracht, etwa bei Auto-Anlaßmaschinen, im übrigen mehr für Schleifringe als für Stromwender.

Die Kohlenbürsten werden in Bürstenhaltern geführt. Hebelbürstenhalter, bei denen der ganze Halterkasten mit der Bürste bei radialen Vibrationen der Bürste um den Bürstenbolzen schwingt, kommen nur für Schleifringe in Frage, bei reinen Gleichstrommaschinen also nur selten (Dreileiter-Maschinen). Bürstenhalter für Stromwender müssen so gebaut sein, daß die Bürsten für sich allein im Halterkasten beweglich sind. Wenn man von den Röhrchen-Bürstenhaltern der Kleinstmaschinen absieht, bestehen die Halter meist (Bild 17 u. 18) aus einem Klemmstück (meist Messingguß), dem aus Blech gepreßten oder genieteten Führungskasten und dem Druckbügel mit Feder. Der Führungskasten ist meist am Klemmstück verstellbar, damit er für verschiedene Abstände der Bürstenbolzen von der Stromwenderoberfläche verwendet werden kann. Die Bürste soll im Führungskasten leicht beweglich sein, jedoch mit sehr geringem Spiel, so daß sie sich

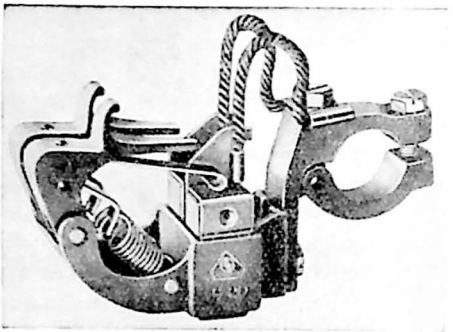

Bild 17. Radial-Bürstenhalter.

möglichst wenig verkanten kann. Deshalb soll auch der Kasten nur wenige Millimeter Abstand von der Schleiffläche haben. Der Strom soll von der Bürste nicht durch die Kastenwand abgeleitet werden, sondern durch besondere Bürstenkabel, die in die Bürsten eingepreßt sind und durch eine Schraube am Klemmstück befestigt werden. Die Druckfeder soll so angeordnet werden, daß der Bürstendruck sich bei der Abnutzung der Bürste möglichst wenig verändert. Man verwendet deshalb entweder Spiralfedern von großer Länge (Bild 18) oder Wendelfedern, deren Achse sich bei Verkürzung vom Drehpunkt weiter entfernt (Bild 17). Gelenke im Druckbügel werden durch Vorfedern (Bild 17) gegen Abnützung durch die unvermeidlichen Vibrationen geschützt.

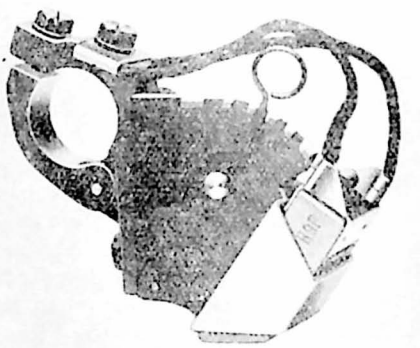

Bild 18. Schräghalter.

Neben den gewöhnlichen Radialhaltern (Bild 17) werden auch Schräghalter oder Reaktionshalter (Bild 18) verwendet. Diese sind nur für Maschinen geeignet, die stets in derselben Drehrichtung laufen. Sie haben gegenüber den Radialhaltern den Vorteil geringerer Reibung der Bürste im Halter, weil der schrägwirkende Federdruck auch die Reibungskraft der Schleiffläche aufnimmt.

Die Bürstenhalter werden auf Bürstenbolzen aufgeklemmt, die am Bürstenträger befestigt sind. Der Bürstenträgerring wird bei kleinen Maschinen meist auf der Lagerschnauze, bei größeren Maschinen in einem am Joch befestigten Schild drehbar gelagert. Nachdem die Bürsten im Prüffeld richtig eingestellt sind, wird der Bürstenträgerring durch Verbohren fixiert. Die Bürstenbolzen werden in Augen dieses Ringes isoliert eingeklemmt. Sie führen den Strom der ganzen Bürstenreihe zu dem Sammelring, der alle gleichpoligen Bürstenbolzen untereinander und mit der Maschinenklemme verbindet. Statt der Bolzen werden besonders bei Bahnmotoren auch Leisten mit rechteckigem Querschnitt verwendet, welche leitende Verbindung mit dem Maschinenkörper haben und an welche die Bürstenhalter isoliert angesetzt werden.

Die Maschinenklemmen werden besonders bei kleineren Maschinen meist auf einem aus Hartpapier bestehenden Klemmenbrett vereinigt, welches in einem Klemmenkasten eingeschlossen ist. Der Klemmenkasten wird, wo es erforderlich ist, mit einem Kabelendverschluß versehen und mit diesem zusammen ausgegossen, so daß die Klemmen wasserdicht abgeschlossen sind.

7. Die tragenden Maschinenteile

Die Welle muß zunächst so stark sein, daß sie den Beanspruchungen durch Verdrehung und durch Biegung infolge des Ankergewichtes, des magnetischen Zuges und des Riemenzuges gewachsen ist. Um Überlastungen Rechnung zu tragen,

setzt man dabei das Doppelte des Nenndrehmomentes in die Rechnung ein, bei starken stoßweisen Überlastungen (wie bei Walzmotoren) auch noch mehr. Darüber hinaus darf die Welle unter dem Einfluß der Biegungsmomente auch keine zu große Durchbiegung zeigen, weil ein ungleichmäßiger Luftspalt einen verstärkten magnetischen Zug und unter Umständen Ausgleichsströme in der Wicklung zur Folge hat. Man nimmt eine Durchbiegung von $^1/_{10}$ des Luftspaltes als zulässig an. Außerdem ist die zulässige Durchbiegung (f) begrenzt durch die kritische Drehzahl $n_k = 300 : \sqrt{f}$, welche, wenn irgend möglich, mindestens 50% über der Betriebsdrehzahl liegen soll. Bei Betriebsdrehzahlen von mehr als 1500 U/min muß hiernach die Durchbiegung wesentlich kleiner gehalten werden als $^1/_{10}$ des Luftspaltes.

Die Berechnung der Beanspruchungen und der Durchbiegung geschieht nach den allgemeinen Regeln der Festigkeitslehre und soll hier nicht weiter auseinandergesetzt werden.

Als Lager verwendet man bei kleineren und mittleren Maschinen heute überwiegend Wälzlager (Kugellager und Rollenlager), die letzteren besonders auch bei Bahnmotoren. Große Maschinen dagegen erhalten auch heute noch oft Gleitlager mit Ringschmierung, sehr rasch laufende Maschinen auch Gleitlager mit Preßölschmierung.

Wälzlager haben den Gleitlagern gegenüber folgende Vorteile: Wesentlich geringerer Reibungsverlust; geringe Baulänge; praktisch keine Abnutzung; sehr einfache Schmierung mit festem Fett, das nur sehr selten erneuert werden muß; sie können auch in jeder beliebigen Schräglage laufen (wichtig im Schiffsbetrieb) und sind leicht auszuwechseln.

Bemessung und bauliche Ausgestaltung der Lager entsprechen den Grundsätzen des allgemeinen Maschinenbaues; nur ist bei elektrischen Maschinen mehr als bei anderen Maschinen darauf zu achten, daß bei Lagern mit Ölschmierung (Gleitlagern) kein Öl aus dem Lager austritt. Man bringt des-

halb Quernuten an den Enden der Lagerschalen an, setzt Spritzringe auf die Welle innerhalb des Lagers und dichtet die Austrittsstelle der Welle aus dem Lagergehäuse durch Filzringe ab.

Soll ein Lager auch kleinere Längskräfte (in Richtung der Maschinenachse) aufnehmen können, so wird bei Gleitlagern ein Bund auf der Welle angeordnet, bei Wälzlagern werden hochschultrige Lager oder Schrägrollenlager verwendet. Bei erheblicher Längsbelastung (Maschinen mit senkrechter Welle) werden besondere Längslager (Spurlager) angeordnet.

Die eigentlichen Lager werden bei kleinen und mittleren Maschinen in Lagerschilde eingebaut, welche durch Eindrehungen am Joch der Maschine mittig geführt werden. Bei größeren Maschinen werden besondere Stehlager verwendet. Stehlager und Ständerfüße werden dann meist auf einer gemeinsamen Grundplatte befestigt.

Die Ausbildung der Lagerschilde ist vor allem davon abhängig, in welcher Weise die Maschine gegen Berührung und gegen Eindringen fester Fremdkörper sowie gegen Eindringen von Wasser geschützt sein soll. Man unterscheidet folgende allgemeine Schutzarten:

A) Schutzarten gegen Berührung und Eindringen fester Fremdkörper: 1. Maschinen ohne Berührungsschutz; 2. Maschinen mit Schutz gegen zufällige Berührung, verbunden mit Schutz a) gegen große oder auch b) gegen kleine feste Fremdkörper; 3. Maschinen mit Schutz gegen absichtliche Berührung, verbunden mit Schutz gegen groben Staub.

B) Schutzarten gegen Eindringen von Wasser: 1. Maschinen ohne Wasserschutz; 2. Tropfwasserschutz; 3. Spritzwasserschutz; 4. Schwallwasserschutz.

Daneben kommen noch einige Sonderschutzarten in Betracht, nämlich Explosions- und Schlagwetterschutz, was beides am vollkommensten durch druckfeste Kapselung zu erreichen ist.

Grundsätzlich können die verschiedenen Schutzarten unter A) mit denen unter B) in beliebiger Weise kombiniert werden. Praktisch wird man natürlich eine Maschine ohne Berührungsschutz nicht gerade mit Wasserschutz nach B 3 oder B 4 ausführen, und umgekehrt wird eine Maschine, die gegen groben Staub geschützt ist, ganz von selbst auch einen gewissen Schutz gegen das Eindringen von Wasser aufweisen und praktisch wohl immer mit Schwallwasserschutz ausgeführt werden. Andererseits kann der Berührungsschutz nach A 2, wenn Wasserschutz nicht notwendig ist, meist in sehr einfacher Weise durch gelochte Bleche oder angeschweißte Drähte, welche die Öffnungen der Lagerschilde überdecken, hergestellt werden. Die Bauarten, welche besondere Ausbildung der Lagerschilde oder des Gehäuses bedingen, sind daher nur verhältnismäßig wenige. Die wichtigsten sind in Bild 19 zusammengestellt.

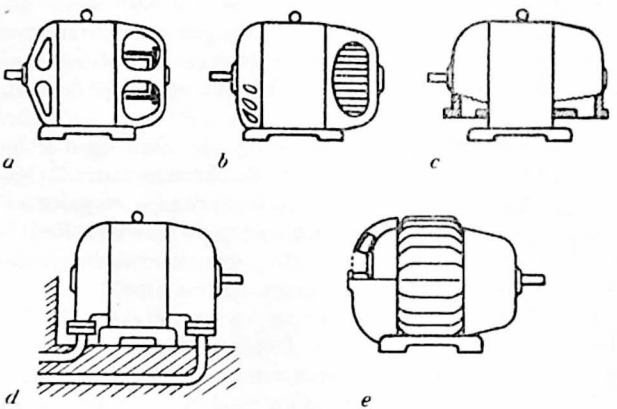

Bild 19. Schutzarten elektrischer Maschinen.
a Offene Maschine (ungeschützt). b Tropfwasser-geschützte Maschine (auch geschützt gegen Eindringen von Fremdkörpern und gegen zufällige oder fahrlässige Berührung). c Spritzwasser-geschützte Maschine (sonst geschützt wie b). d Geschlossene Maschine mit Rohranschluß. e Geschlossene Maschine mit Mantelkühlung.

8. Die Lüftung

Um die in der Maschine entstehende Wärme abzuführen, ist bei den heutigen hochausgenützten Maschinen der Lüftung besondere Beachtung zu schenken. Nur bei den kleinsten Maschinen kann man ohne besondere Lüfter auskommen. Bei allen größeren Maschinen — häufig auch schon bei ganz kleinen — wird ein besonderer Lüfter vorgesehen, welcher die Luft meist an der Antriebsseite (*A*-Seite) ansaugt und axial über die Ankeroberfläche hinweg zwischen den Polen hindurch auf der Stromwenderseite (*B*-Seite) ausbläst. Auch die umgekehrte Anordnung kommt vor, nämlich ein Sauglüfter auf der *A*-Seite, der die Luft über den Stromwender hinweg ansaugt. Die Stromwenderfahnen und die Stege in den Lüftungsschlitzen des Ankers, die bei älteren Maschinen oft die einzigen als Lüfter wirkenden Maschinenteile waren, fördern heute meist nur Teile des Luftstromes, beispielsweise nach Bild 20.

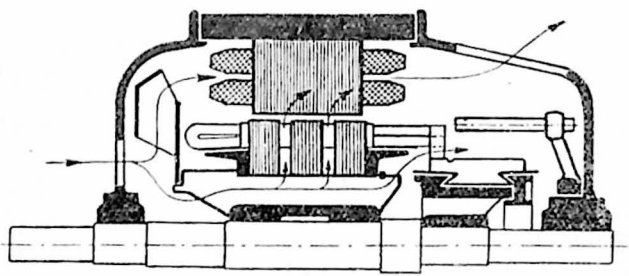

Bild 20. Schema der Lüftung einer offenen Maschine.

In dieser Art können alle offenen und geschützten Maschinen nach Bild 19a—d gelüftet werden. Bei ganz geschlossenen Maschinen (Bild 19e) wird durch den Lüfter im Innern der Maschine nur ein Kreislauf der Luft erzwungen, der die Wärme von den inneren Teilen an das Gehäuse ab-

führt. Um auch die Wärmeabgabe vom Gehäuse an die Außenluft zu erleichtern, wird das Gehäuse außen mit Rippen versehen und meist auch ein besonderer Außenlüfter angeordnet, der einen Luftstrom über die Oberfläche des Gehäuses bläst. Noch wirkungsvoller wird die Kühlung, wenn man auf dem Gehäuse einen besonderen Kühlkörper mit Hohlrippen (Lufttaschen) aufbaut, der im Inneren von der Innenluft der Maschine, außen im Gegenstrom dazu von der Luft des Außenkühlers bespült wird.

II. Die Ankerwicklung

1. Begriffe und Bezeichnungen

Der Anker rotiert in dem magnetischen Feld, welches von der Hauptpolwicklung erregt wird und radial von außen in den Anker eindringt. Dabei wird in jedem Leiter (Draht oder Stab), der auf der zylindrischen Anker-Oberfläche axial angeordnet ist, eine Spannung induziert, die der Stärke des magnetischen Feldes, der Länge des Leiters und der Umfangsgeschwindigkeit proportional ist. Diese Spannung ist in einem einzelnen Leiter nur sehr klein; es müssen deshalb immer viele Leiter in Reihe geschaltet werden. Die Reihenschaltung ist auf zwei Arten möglich: Entweder werden zwei unmittelbar nebeneinanderliegende Leiter gleichsinnig in Reihe geschaltet, wobei die Verbindung vom Ende des ersten zum Anfang des zweiten Leiters unter dem Ankereisen hindurchgehen muß („Ringwicklung"), oder es werden zwei unter verschiedenen Polen liegende Leiter gegensinnig in Reihe geschaltet, wobei die Verbindung auf einer Seite des Ankers bleibt („Trommelwicklung"). Die Ringwicklung wird heute kaum noch angewendet. Der Vorteil der Trommelwicklung liegt in der leichteren Fertigung; denn es können bei ihr fertiggewickelte Spulen in den Anker hineingelegt werden, während bei der Ringwicklung die Drähte unter dem Anker durchgezogen werden müssen. Dies kommt besonders bei Reparaturen zur Geltung. Bei der

Trommelwicklung können einzelne beschädigte Spulen leicht ausgewechselt werden. Daß die nicht induzierten Spulenteile (die Verbindungen zwischen den einzelnen Leitern) bei der Trommelwicklung eine geringere Länge haben als bei der Ringwicklung, ist zwar auch vorteilhaft, aber von geringerer Bedeutung.

Die Ankerspulen werden durchweg in Nuten des Ankers untergebracht. Gegenüber den früher gebräuchlichen ungenuteten („glatten") Ankern haben die „Nutenanker" den Vorzug, daß man mehr Platz für die Wicklung gewinnt, ohne daß der Abstand zwischen Ankeroberfläche und Polfläche (der „Luftspalt") und mit ihm der magnetische Widerstand zwischen Pol und Anker zu groß wird, und den noch wichtigeren Vorzug, daß die Umfangskraft der Maschine beim Nutenanker nicht an der Wicklung, sondern an den Zähnen angreift, so daß die Isolierung der Wicklung nicht mehr durch die stark und oft stoßweise wechselnde Umfangskraft beansprucht wird.

Bei Schablonenwicklung oder Stabwicklung (vgl. S. 18) liegen stets zwei Spulenseiten oder zwei Stabbündel in der Nut übereinander („Zweischicht-Wicklung").

Trommelanker mit in Nuten angeordneter Zweischicht-Wicklung sollen den folgenden Betrachtungen zugrundegelegt werden.

Eine Gruppe von Leitern, deren Enden an zwei im Zuge der Wicklung aufeinanderfolgende Stromwenderstege angeschlossen sind, nennen wir „Wicklungselement". Die Zahl der Wicklungselemente ist gleich der Zahl der Stromwenderstege (k). Jedes Wicklungselement kann mehrere (w) Windungen enthalten. Wicklungen mit $w = 1$ heißen Stabwicklungen; Wicklungen mit $w > 1$ Spulenwicklungen (Schablonenwicklungen).

Eine Spule besteht aus zwei in die Nuten eingebetteten Spulenseiten und aus zwei Spulenköpfen. Bei der Zweischichtwicklung liegt die eine Spulenseite, welche zuerst ein-

gelegt wird, in der unteren Hälfte einer Nut (Spulenunterseite), die andere in der oberen Hälfte einer Nut (Spulenoberseite). Zwei Spulenseiten, die verschiedenen Spulen angehören, füllen im allgemeinen eine Nut vollständig aus. Eine Spule besteht meist aus mehreren Wicklungselementen („Teilspulen"). Auch in jedem Wicklungselement kann man eine obere und eine untere Elementenseite oder bei Stabwicklung einen Oberstab und einen Unterstab unterscheiden.

Zur schematischen Darstellung der Wicklungen denkt man sich den Ankerumfang zu einer Geraden aufgebogen und be-

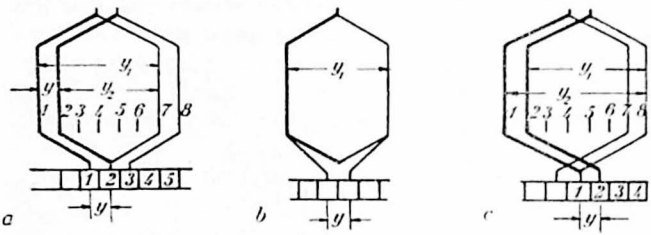

Bild 21. Schleifenwicklung.

trachtet die Wicklung in radialer Richtung von außen (Bild 21 u. f.). Um die Schaltung der Wicklung durch zahlenmäßige Angaben über die zu verbindenden Leiter kennzeichnen zu können, numerieren wir alle oberen Elementenseiten bzw. Oberstäbe fortlaufend von 1 bis k, und zwar in der Reihenfolge, in welcher die Spulen eingelegt werden. Zwei an derselben Stelle des Ankerumfangs übereinanderliegende Stäbe oder Teilspulenseiten erhalten dieselbe Nummer. Von den beiden zu einem Wicklungselement gehörenden Stäben oder Teilspulenseiten hat danach immer die in der Nut obenliegende Teilspulenseite (der Oberstab) die niedrigere Nummer. Der Stromwendersteg, an den der Anfang des Wicklungselementes (der Oberstab) angeschlossen ist, erhält dieselbe

Nummer wie dieser (Bild 21 u. 22). In den folgenden Bildern liegt immer die untere Spulenseite vom Stromwender aus gesehen weiter rechts als die obere; es ist also angenommen, daß die Spulen von links nach rechts (vom Stromwender aus gesehen) eingelegt werden („Rechtswicklung").

Die Hintereinanderschaltung der einzelnen Wicklungselemente ist wieder auf zwei Arten möglich: Entweder werden zwei unmittelbar nebeneinanderliegende Wicklungselemente in Reihe geschaltet („Schleifenwicklung", Bild 21), oder zwei um eine doppelte Polteilung auseinanderliegende Wicklungs-

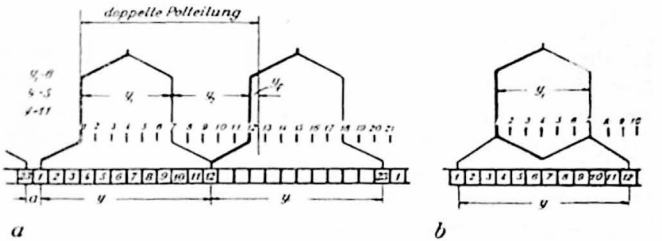

Bild 22. Wellenwicklung.

elemente („Wellenwicklung", Bild 22). Wellenwicklung ist hiernach natürlich nur möglich, wenn mehr als zwei Pole vorhanden sind. Wir bezeichnen künftig mit p die Zahl der Polpaare.

In Bild 21a und 22a sind Stabwicklungen gezeichnet. Bei Spulenwicklungen wird jede Teilspulenseite mehrmals durchlaufen, ehe man zur nächsten Teilspule weitergeht (Bild 21b und 22b).

„Wicklungsschritte" nennen wir die Abstände der im Zuge der Wicklung aufeinanderfolgenden Elementenseiten voneinander, gemessen in Elemententeilungen oder Stromwenderstegteilungen. Wir bezeichnen mit y den „Gesamtschritt" („Stromwenderschritt"), d. h. den Abstand von der Oberseite

eines Wicklungselementes bis zur Oberseite des nächsten oder von einem Stromwendersteg bis zu dem im Zuge der Wicklung folgenden. Mit y_1 bezeichnen wir den „ersten Teilschritt" oder die „Spulenweite", d. h. den Abstand der beiden Seiten einer Teilspule voneinander, mit y_2 den „zweiten Teilschritt" („Schaltschritt").

2. Wicklungsregeln

a) Schleifenwicklung

Wenn wir die Teilschritte stets positiv rechnen, ist bei Schleifenwicklung

$$y = y_1 - y_2. \tag{1}$$

Im allgemeinen ist $y_1 > y_2$, also y positiv (ungekreuzte Wicklung, Bild 21a u. b). Nur selten macht man $y_1 < y_2$, so daß y negativ wird (gekreuzte Wicklung, Bild 21c). Da man keine Teilspule übergehen will, muß im allgemeinen $y = \pm 1$ sein.

Jeder der beiden Teilschritte muß ungefähr einer Polteilung entsprechen, wenn alle induzierten Spannungen in einem Wicklungszweig gleichsinnig in Reihe geschaltet sein sollen, also

$$y_1 \approx y_2 \approx \frac{k}{2p}. \tag{2}$$

Die Zahl der Teilspulen, in denen gleichgerichtete Spannungen induziert werden, deren Oberseiten also alle unter einem Pol liegen — die Unterseiten liegen dann alle unter dem nächsten Pol von entgegengesetzter Polarität — ist $k:2p$. Danach kommen Teilspulen, in denen entgegengesetzte Spannungen induziert werden. Zwischen diesen beiden Wicklungsabschnitten muß eine Stromzuführungsstelle liegen, d. h. ein Stromwendersteg, der gerade von einer Bürstenreihe bestrichen wird. Wie Bild 23 zeigt, entstehen dadurch in einer Maschine mit $2p$ Polen $2p$ parallele Wicklungszweige. Wir wollen die Zahl der parallelen Wicklungszweige, die immer eine gerade Zahl ist, mit $2a$ bezeichnen. Dann ist für die

Schleifenwicklung $a = p$. Eine Schleifenwicklung bei vielpoligen Maschinen ist also eine Wicklung mit vielen parallelen Zweigen und deshalb für große Stromstärke (niedrige Spannungen oder große Leistungen) geeignet.

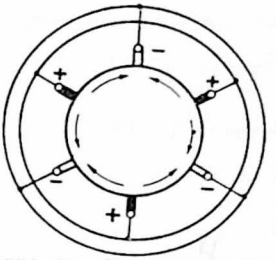

Bild 23. Stromverzweigung in einem 6-poligen Motoranker mit Schleifenwicklung.

Nur in ganz seltenen Ausnahmefällen macht man $y = \pm 2$. Eine solche „zweigängige Schleifenwicklung" zerfällt in zwei Umläufe, die nur durch die Bürsten miteinander in Verbindung stehen. Die Zahl der parallelen Zweige ist hier doppelt so groß wie bei der eingängigen Schleifenwicklung, nämlich $a = 2p$.

b) Wellenwicklung

Hier ist nach Bild 22

$$y = y_1 + y_2. \tag{3}$$

Da auch hier jeder Teilschritt einer Polteilung entspricht, so ist hier der Stromwenderschritt ungefähr gleich einer doppelten Polteilung. Nach Durchlaufen von p Wicklungselementen erreicht man einen Stromwendersteg, der in der Nähe des Ausgangspunktes liegt, und zwar im allgemeinen unmittelbar neben ihm, so daß nach diesen p Wicklungselementen das unmittelbar neben dem ersten liegende an die Reihe kommt, also keines übergangen wird. In manchen Fällen erreicht man nach p Wicklungselementen auch einen Stromwendersteg, der um eine geringe Anzahl (x) von Stegen vom Ausgangspunkt entfernt ist. Allgemein ist also

$$p \cdot y = k \pm x. \tag{4}$$

Um im Zuge der Wicklung von einer positiven Bürstenreihe zu einer negativen zu gelangen, muß man auf dem Stromwender eine Polteilung, also $k{:}2p$ Stege, überschreiten. Da

man mit p Wicklungselementen um x Stromwenderstege fortschreitet, so muß man hierzu $\left(\frac{k}{2p} : x\right) \cdot p = \frac{k}{2x}$ Wicklungselemente durchlaufen. Diese $\frac{k}{2x}$ Wicklungselemente sind in Reihe geschaltet. Da im ganzen k Wicklungselemente vorhanden sind, so müssen $2x$ parallele Zweige vorhanden sein. Die halbe Zahl der parallelen Zweige ist also $a = x$, und wir können an Stelle der Gl. (4) jetzt auch schreiben

$$p \cdot y = k \pm a. \tag{4a}$$

Ist die Zahl der parallelen Zweige vorgeschrieben, so erhält man den Wicklungsschritt aus der Wicklungsformel

$$y = \frac{k \pm a}{p}. \tag{4b}$$

Wellenwicklungen mit $a = 1$ nennt man eingängige Wellenwicklungen oder einfache Reihenwicklungen. Sie sind für kleine Ströme (hohe Spannungen oder kleine Leistungen) geeignet. Wellenwicklungen mit $a > 1$ nennt man mehrgängige Wellenwicklungen oder Reihenparallelwicklungen. Sie sind Zwischenstufen zwischen den einfachen Reihenwicklungen und den Schleifenwicklungen (oder „Parallelwicklungen"). Für $a = p$ oder $a > p$ werden Wellenwicklungen nicht ausgeführt, weil hierfür die einfacheren Schleifenwicklungen möglich sind.

Bei Wellenwicklung entsteht eine gekreuzte Wicklung, wenn $y = \frac{k + a}{p}$, eine ungekreuzte Wicklung, wenn $y = \frac{k - a}{p}$.

Als Feldschritt y_f bezeichnet man die Entfernung aufeinanderfolgender Wicklungselemente voneinander in einem Schema, in welchem alle gleichnamigen Pole übereinandergelegt sind. Bei Wellenwicklung ist $y_f = y - k : p$, bei Schleifenwicklung $y_f = y$, also in beiden Fällen

$$y_f = \pm \frac{a}{p}. \tag{5}$$

c) Lage und Polarität der Bürsten

Bei den gebräuchlichen Schablonenwicklungen und Stabwicklungen sind die beiden Spulenenden (oder Stabenden), welche zusammen den Schaltschritt y_2 bilden, gleich lang. Da die von den Bürsten kurzgeschlossenen Wicklungselemente in der „neutralen Zone" zwischen den Polen liegen müssen, so stehen die Bürstenreihen vor den Mitten der Pole (Bild 24). Verfolgt man die Richtung der induzierten Spannungen zwischen zwei Bürstenreihen, so findet man, daß bei allen ungekreuzten Wicklungen (Schleifenwicklung oder Wellenwicklung) die positiven Bürsten vor dem Nordpol stehen, wenn der Anker vom Stromwender aus gesehen nach links umläuft (Rechtslauf von der *A*-Seite[1])). Bei Linkslauf von der *A*-Seite kehrt sich die Polarität der Bürsten um, ebenso bei allen gekreuzten Wicklungen.

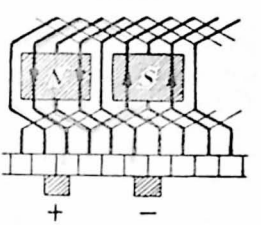

Bild 24. Polarität der Bürsten (ungekreuzte Wicklung, Rechtslauf von A-Seite).

d) Verteilung der Leiter auf die Nuten

Die Nutenzahl Z ist meist kleiner als k. Liegen u Stäbe oder Teilspulenseiten nebeneinander in einer Nut, so ist $k = u \cdot Z$. Bei Schleifenwicklung kann u frei gewählt werden; bei Wellenwicklung dagegen muß auf die Wicklungsformel Rücksicht genommen werden. Diese verlangt, daß $k \pm a$ durch p teilbar sei. Es muß also z. B. für $p = 2$ und $a = 1$ die Zahl k ungerade und somit auch u und Z ungerade sein. Ähnliche Bedingungen für k, u und Z lassen sich auch für jeden anderen Wert von p und a ableiten. Ist z. B. $p = 4$ und

[1]) Nach den vom Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE) herausgegebenen „Regeln für elektrische Maschinen (REM)" wird der Drehsinn einer Maschine von der dem Stromwender entgegengesetzten Seite („Antriebsseite" oder „*A*-Seite") aus bestimmt.

$a = 1$, so ist $p \cdot y$ durch 4 teilbar, also muß $k = p \cdot y \pm 1$ eine ungerade Zahl sein. Auch hier müssen u und Z ungerade Zahlen sein. Ist $p = 4$ und $a = 2$, so muß $k = p \cdot y \pm 2$ eine gerade, aber nicht durch 4 teilbare Zahl sein. Da Z wegen der Ausgleichsverbindungen (siehe S. 48) eine gerade Zahl sein muß, so muß u, der andere Faktor von k, auch hier ungerade sein.

e) Unregelmäßige Wellenwicklungen

Bei den am häufigsten vorkommenden vierpoligen Maschinen ist es auch bei Wellenwicklung ($a = 1$) manchmal notwendig, $u = 2$ zu wählen. In diesem Fall ist keine regelmäßige Wellenwicklung möglich. Man hilft sich durch eine künstlich

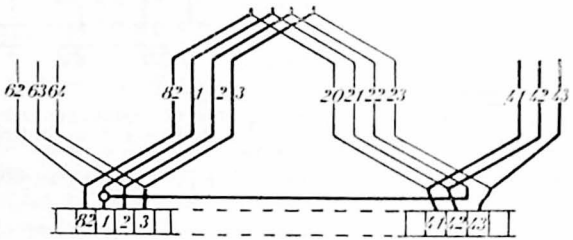

Bild 25. Unregelmäßige (künstlich geschlossene) Wellenwicklung.

geschlossene Wicklung oder eine Wicklung mit blinder Spule.

Beispiel: Es sei $k = 82$, $Z = 41$ ($k = 81$ soll nicht ausgeführt werden, weil 27 Nuten zu wenig und 81 zu viel wäre). Dann müssen zwei Wicklungselemente $k - 1 = 81$ Stromwenderstege überschreiten. Der Schritt muß daher abwechselnd 41 und 40 sein. Wählt man $y_1 = 20$, so wird abwechselnd $y_2 = 21$ und $y_2 = 20$. Beginnt man die Wicklung bei Stromwendersteg Nr. 1, so trifft man als letzten Stromwendersteg den Nr. 2 und muß das Ende des hier beginnenden Wicklungselementes mit dem Anfang des Wicklungselementes Nr. 1 verbinden (Bild 25).

Bei dieser Wicklung liegen zwischen den Stromwenderstegen Nr. 42 und 43 statt zweier Wicklungselemente deren drei, so daß hier die Stegspannung (vgl. S. 46) vergrößert und die Stromwendung erschwert ist.

Schließt man die Teilspule Nr. 2 (Bild 25) nicht an (blinde Spule), so wird die künstliche Verbindung überflüssig und die Stromwenderstege Nr. 1 u. 2 können zu einem vereinigt werden. Hier ist also $k = u \cdot Z - 1$. Bei der Wicklung mit blinder Spule ist aber die Summe aller in der geschlossenen Wicklung induzierten Spannungen nicht gleich Null, sondern gleich der in der blinden Teilspule induzierten Spannung. Es entsteht also ein Ausgleichsstrom in der Wicklung.

Die Nachteile beider Wicklungen kann man vermeiden, wenn man bei Bild 25 zwischen den Stromwenderstegen Nr. 42 und 43 noch einen weiteren Stromwendersteg einschaltet, so daß $k = u \cdot Z + 1$ wird.

f) Treppenwicklung (Wicklung mit geteilten Spulen)

Der erste Teilschritt y_1 ist meist durch u teilbar. Der „Nutenschritt" ist dann für alle Spulen

$$y_n = y_1 : u. \tag{6}$$

Die u Wicklungselemente, die in einer Nut nebeneinanderliegen, können vor dem Einlegen gemeinsam isoliert werden.

Wicklungen, bei denen y_1 nicht durch u teilbar ist (Bild 26), heißen Treppenwicklungen. Bei ihnen sind die Nutenschritte der einzelnen Wicklungselemente ungleich. Bei Spulenwicklungen mit Treppe müssen also zwei Arten von Spulen für denselben Anker gewickelt werden. Bei Stabwicklungen dagegen, bei denen die Stäbe auf beiden Seiten des Ankers durch Zwingen verbunden werden, können auch bei Treppenwicklung alle Stäbe einer Nut gemeinsam isoliert werden.

Treppenwicklung ist vorteilhaft für die Stromwendung und wird deshalb fast nur bei großen Maschinen, die stets Stabwicklung haben, angewendet.

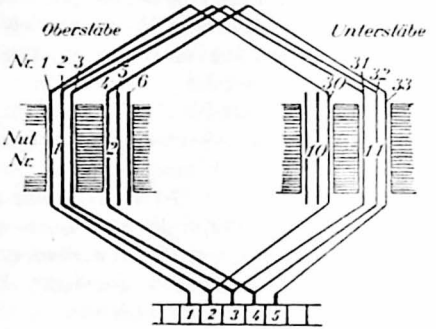

Bild 26. Treppenwicklung.

3. Induzierte Spannungen

Die Hauptspannung. Bei der Rotation des Ankers im magnetischen Feld wird in jedem Leiter eine Spannung induziert, deren Richtung nur solange gleich bleibt, als der Leiter unter einem Pol sich befindet. Die in einem Wicklungselement induzierte Spannung ist also eine Wechselspannung, deren Frequenz als „Ummagnetisierungsfrequenz" bezeichnet wird, weil auch das Eisen des Ankers mit derselben Frequenz ummagnetisiert wird. Die Dauer einer Periode dieser Wechselspannung (der Kehrwert der Frequenz) ist die Zeit, in der ein Punkt der Ankeroberfläche eine doppelte Polteilung zurücklegt.

Nur eine Halbperiode lang darf ein Wicklungselement in einen Stromzweig eingeschaltet bleiben; dann muß es durch den Stromwender in einen anderen Stromzweig umgeschaltet werden. Auch innerhalb dieser Halbperiode ist die Spannung, die in dem Element induziert wird, nicht konstant. Für die gesamte Gleichspannung kommt ihr Mittelwert in Betracht.

Bezeichnet man mit Φ den Fluß eines Poles in Weber

(Voltsec)[1]), mit $\xi \cdot \Phi$ den Fluß, der zur Zeit der Umschaltung (Stromwendung) mit einem Wicklungselement verkettet ist, so ändert sich der von einer Windung umschlossene Fluß zwischen zwei Stromwendungen um den Betrag $2 \cdot \xi \cdot \Phi$. Bezeichnet man weiter mit n die minutliche Drehzahl der Maschine und mit $f = p \cdot \frac{n}{60}$ die „Ummagnetisierungsfrequenz", so ist die Dauer der Zeit zwischen zwei Stromwendungen (Halbperiode) $\frac{1}{2}T = 1:2f$. Der Mittelwert der in einer Windung induzierten Spannung ist also $2\xi\Phi : \frac{1}{2}T = 4 \cdot f \cdot \xi \cdot \Phi$. Die Zahl der in einem Wicklungszweig liegenden (in Reihe geschalteten) Windungen ist

$$w_a = \frac{k \cdot w}{2a}. \tag{7}$$

Danach ist die gesamte in der Ankerwicklung induzierte Spannung (Hauptspannung)

$$E = 4 \cdot f \cdot \xi \cdot \Phi \cdot w_a. \tag{8}$$

Wenn während der Stromwendung beide Spulenseiten in der „neutralen Zone" liegen, d. h. wenn die Bürsten in der Symmetrielage stehen (Bild 24), und wenn der Spulenschritt gleich der Polteilung ist $\left(y_1 = \frac{k}{2p}, \text{„Durchmesserwicklung"}\right)$, dann ist $\xi = 1$.

Wicklungen mit erheblichem Unterschied zwischen Spulenschritt und Polteilung $\left(\text{meist } y_1 < \frac{k}{2p}\right)$ nennt man „Sehnenwicklungen". Schon eine geringe Abweichung vom Durchmesserschritt ist vorteilhaft für die Stromwendung. Andererseits wird die Stromwendezone (siehe S. 77) durch diese Abweichung verbreitert. Größere Abweichungen (eigentliche

[1]) Nach einem Beschluß der IEC vom Juni 1935 heißt die Einheit des magnetischen Flusses im praktischen Maßsystem 1 Weber (bisher 1 Voltsec.). Rechnet man, wie das bisher üblich war und vielfach noch üblich ist, mit der Einheit des magnetischen Flusses im sog. elektromagnetischen Maßsystem (1 Maxwell $= 10^{-8}$ Voltsec), so ist in allen Formeln an Stelle von Φ einzusetzen $\Phi \cdot 10^{-8}$.

Sehnenwicklungen) sind nur bei Maschinen ohne Wendepole möglich. Sie haben bei Schleifenwicklung immer, bei Wellenwicklung, wenn $w > 1$, den Vorteil eines geringeren Kupferverbrauchs, wobei die Verringerung der induzierten Spannung immer noch klein ist.

Die Stegspannung. Die in einem Wicklungselement induzierte Spannung e ist bei Leerlauf (oder wenn man von der Ohmschen Spannung absieht) bei einfacher Schleifenwicklung zugleich die Spannung zwischen zwei benachbarten Stromwenderstegen. Bei Wellenwicklung ist die Spannung $p \cdot e$, die die in p in Reihe geschalteten Wicklungselemente induziert wird, gleich der Spannung zwischen zwei um den Schritt a auseinanderliegenden Stromwenderstegen. Allgemein ist also die Spannung zwischen zwei benachbarten Stromwenderstegen (Stegspannung): $e_{st} = \frac{p}{a} \cdot e$.

Bei Durchmesserschritt ist die in einem Wicklungselement induzierte Spannung e proportional der magnetischen Induktion an den Stellen, an welchen die beiden Spulenseiten gerade liegen. Mit dem Fortschreiten des Wicklungselementes im magnetischen Feld ändert sich auch die Stegspannung. An einer im Raum (relativ zum Ständer) festgehaltenen Stelle des Stromwenderumfangs ist aber die Stegspannung konstant; d. h. jedem räumlich festliegenden Punkt

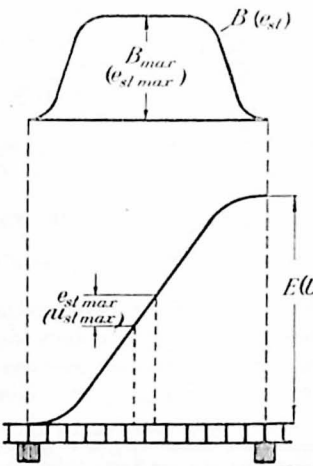

Bild 27. Feldkurve und Stromwenderpotentialkurve.

am Umfang des Stromwenders entspricht ein fester Punkt des Ankerumfangs oder eine bestimmte Ordinate der Feldkurve (Bild 27, oben). Das Potentialdiagramm des Stromwenders erhält man durch Summation der Spannungen, die in den einzelnen zwischen je zwei Stromwenderstegen liegenden Spulen induziert werden. Bei Durchmesserschritt ist die Potentialkurve einfach das Integral der Feldkurve (Bild 27).

Die mittlere Stegspannung ist

$$(9) \qquad e_{st\ \text{mittel}} = E : \frac{k}{2p} = 2p \cdot E : k.$$

Sie verhält sich zur höchsten Stegspannung wie die Fläche der Feldkurve zum umschriebenen Rechteck. Dies Verhältnis nennt man den ideellen Polbedeckungsfaktor α_i. Bei Leerlauf ist also

$$(10) \qquad (e_{st\ \max})_0 = e_{st\ \text{mittel}} : \alpha_i = \frac{2p \cdot E}{\alpha_i \cdot k}.$$

Bei Belastung ändert sich die Form der Feldkurve; dadurch wird $e_{st\ \max}$ noch größer (s. S. 71).

Anstatt aus der induzierten Spannung E kann man die Stegspannung auch aus der Klemmenspannung U, also mit Berücksichtigung der Ohmschen Spannung berechnen. Bezeichnen wir die wirkliche Stegspannung mit u_{st} (im Gegensatz zu der „induzierten" Stegspannung e_{st}), dann ist

$$(9a) \qquad u_{st\ \text{mittel}} = 2p \cdot U : k.$$

Als zulässig rechnet man bei größeren Maschinen für die höchste Stegspannung bei Belastung etwa 30 Volt, für die höchste Stegspannung bei Leerlauf etwa 24 Volt (Maschinen mit Kompensationswicklung 30 Volt), für die mittlere Stegspannung etwa 16 Volt (Masch. m. Komp.-Wicklung 20 Volt).

Das Spannungsvieleck. In jedem der k Wicklungselemente wird eine Wechselspannung induziert, deren Grundwelle durch einen Vektor dargestellt werden kann. Werden alle diese Vektoren in der Reihenfolge des Wicklungszuges

aneinandergereiht, so entsteht ein Spannungsvieleck mit k Seiten (Bild 28), welches sich bei großer Zahl der Wicklungselemente einem Kreis nähert. Der Winkel α zwischen zwei benachbarten Vektoren entspricht dem Feldschritt y_f und ist

$$\alpha = 360^0 \cdot y_f : \frac{k}{p} = 360^0 \cdot \frac{a}{k} .$$

Liegen mehrere Spulenseiten in einer Nut nebeneinander, so sind die induzierten Spannungen in je $u = k:Z$ Teilspulen

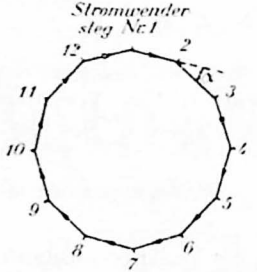

Bild 28. Spannungsvieleck bei $u = 1$ und $a = 1$.

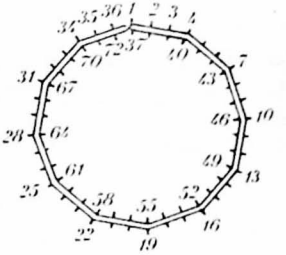

Bild 29. Spannungsvieleck bei $u = 3$ und $a = 2$.

gleichgerichtet. Es entstehen also Z Gruppen solcher Spannungen mit einem Phasenwinkel $u \cdot \alpha = 360^0 \cdot \frac{a}{Z}$. Das Spannungsvieleck hat nur noch Z Seiten (Bild 29).

4. Ausgleichsverbindungen

Bei Wicklungen mit mehreren parallelen Kreisen ($a > 1$) besteht das Spannungsvieleck aus a Umläufen (Bild 29). Denn der Phasenwinkel α bzw. $u \cdot \alpha$ multipliziert mit der Seitenzahl des Vielecks k bzw. Z gibt stets $a \cdot 360^0$. Diese a Umläufe decken sich im allgemeinen, wenn Z durch a teilbar ist. In diesem Fall sind je a Punkte der Wicklung potentialgleich und können leitend verbunden werden (Ausgleichsverbindungen).

Den Abstand zweier potentialgleicher Punkte am Stromwenderumfang, gemessen in Stegteilungen, bezeichnen wir mit y_v (Verbindungsschritt).

Bei Schleifenwicklung ist $y_v = \frac{k}{p} =$ doppelte Polteilung; denn man erreicht einen potentialgleichen Punkt nach einem Umlauf des Spannungsvielecks, also nach $\frac{k}{a}$ Wicklungselementen oder nach $\frac{k}{a} \cdot y = \frac{k}{p}$ Stromwenderstegen.

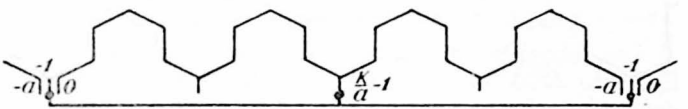

Bild 30. Ausgleichsverbindung bei einer Wellenwicklung mit $p = 4$, $a = 2$.

Bei Wellenwicklung liegen zwischen Anfang und Ende eines Umlaufes (von p Wicklungselementen) a Stromwenderstege. Der Stromwendersteg Nr. 1 kann mit einem Punkt des beim Stromwendersteg Nr. 0 beginnenden Wicklungsumlaufs verbunden werden, der um $\frac{p}{a}$ Wicklungselemente vom Ausgangspunkt (Steg Nr. 0) entfernt ist (Bild 30). Sollen alle Anschlüsse auf der Stromwenderseite liegen, so muß $\frac{\mathbf{p}}{\mathbf{a}}$ **eine ganze Zahl** sein und der Verbindungsschritt wird

$$y_v = \left(\frac{p}{a} \cdot \frac{k \pm a}{p}\right) \mp 1 = \frac{k}{a} = \frac{p}{a} \text{ doppelte Polteilungen.}$$

Ist nicht p, wohl aber $2p$ durch a teilbar, so liegen die potentialgleichen Punkte auf verschiedenen Seiten des Ankers (Bild 31)) und können nur unter dem Ankereisen hindurch verbunden werden. Man vermeidet solche Wicklungen.

Bei den nur sehr selten angewendeten zweigängigen

Schleifenwicklungen ($a = 2p, y = 2$) sind ebenfalls Ausgleichsverbindungen erforderlich, die unter dem Ankereisen hindurchgehen (Bild 32). Bei dieser Wicklung muß $y_1(y_2) = \frac{k}{2p} \pm 1$ sein. Auch bei einer Wellenwicklung nach Bild 31 wäre der erste Teilschritt y_1 nicht beliebig wählbar.

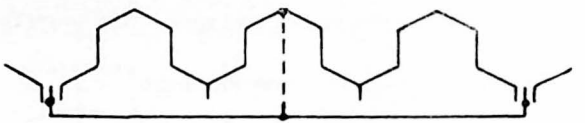

Bild 31. Ausgleichsverbindung bei einer Wellenwicklung mit $p = 3, a = 2$.

Die Ausgleichsverbindungen können als Ringe oder in der Form von Wicklungsverbindungen (Bild 33) ausgeführt werden. Sie können am Stromwenderkörper oder am Wicklungsträger befestigt werden. Sie können an den Stromwender oder an die vom Stromwender abgewendete Seite der Wicklung angeschlossen, auch auf beide Seiten verteilt werden. Ihre Anzahl ist beliebig; meist ein Anschluß nach je 5 bis 10 Stromwenderstegen. Querschnitt der Ausgleichsringe etwa $\frac{1}{4} \ldots \frac{1}{2}$ von dem der Ankerleiter, jedoch um so größer, je kleiner die Zahl der Ausgleichsringe ist.

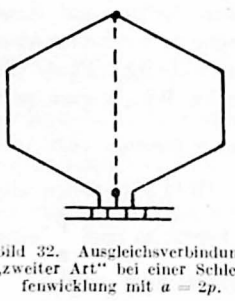

Bild 32. Ausgleichsverbindung „zweiter Art" bei einer Schleifenwicklung mit $a = 2p$.

Die Ausgleichsverbindungen sind notwendig, um trotz kleiner Herstellungsfehler gute Stromwendung zu sichern.

Bei Schleifenwicklung ist es die Ungleichheit der Polflüsse (infolge von Material- oder Montagefehlern), die schädlich wirken kann. Denn hier liegen alle in einem Wicklungszweig in Reihe geschalteten Wicklungselemente im Felde zweier Pole; die der anderen Wicklungszweige im Felde anderer

Pole. Ungleiche Polflüsse induzieren daher ungleiche Spannungen in den einzelnen Wicklungszweigen. Schon bei geringer Verschiedenheit der induzierten Spannungen werden die Bürstenströme sehr stark verschieden; hierdurch wird die Stromwendung beträchtlich erschwert.

Durch die Ausgleichsverbindungen werden einzelne Wicklungselemente des einen Wicklungszweiges mit einer gleichen Anzahl von Wicklungselementen eines anderen Wicklungszweiges parallel geschaltet. Sind die in diesen Elementen induzierten Spannungen ungleich, so entstehen Ausgleichsströme (Wechselströme!), die die erzeugenden Fehlfelder schwächen, ebenso wie der Kurzschlußstrom einer Wechselstrommaschine den Fluß der Pole schwächt. Die Ausgleichsströme, die bei einer Wicklung ohne Ausgleichungsverbindungen über die Bürsten fließen, sind dagegen Gleichströme und können ebenso wie der Kurzschlußstrom einer Gleichstrommaschine das Feld, durch welches sie erzeugt werden, nur verzerren, aber nicht beseitigen.

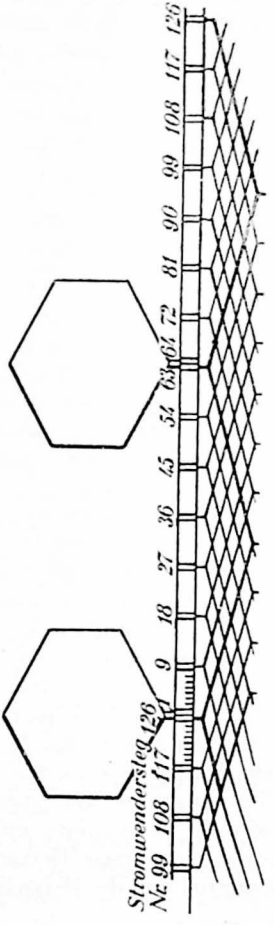

Bild 33. Schema der Ausgleichsverbindungen einer Schleifenwicklung, $k = 126\,(Z = 42), a = p = 2, y = 1, y_c = 63$ Stromwenderstege (oder $Z : a = 21$ Nutenteilungen), Anschluß nach je 9 Stromwenderstegen (7 Ringe).

Bei Wellenwicklung können durch schlecht aufliegende Bürsten Fehler in der Stromverteilung entstehen, welche die Stromwendung wesentlich verschlechtern. Auch hier wird durch die Ausgleichsverbindungen abgeholfen.

5. Entwurf einer Gleichstromwicklung

Beim Entwurf der Wicklung müssen die Hauptabmessungen der Maschine schon festliegen, also Polfluß Φ und Polpaarzahl p gegeben sein. Für eine bestimmte Spannung und Drehzahl ergibt sich dann die Ankerwindungszahl $w_a = \frac{k \cdot w}{2a}$ aus der Spannungsformel (8) (S. 45). Zweckmäßig zu wählen sind noch die Faktoren w, a und k.

Die Zahl der Stromwenderstege kann nur innerhalb ziemlich enger Grenzen gewählt werden. Die obere Grenze ist durch die kleinste ausführbare Stegteilung t_k gegeben (bei mittelgroßen Maschinen $t_{k\,\min} = 4 \ldots 5$ mm). Eine untere Grenze ist bei höheren Maschinenspannungen dadurch bedingt, daß die höchste zulässige Stegspannung (S. 47) nicht überschritten werden soll. Bei sehr hoher Maschinenspannung kann diese Bedingung manchmal nur dann eingehalten werden, wenn Sonderbauformen mit niedrigerer Polpaarzahl gewählt werden. Auch wegen der Oberwellen der induzierten Spannung ist eine gewisse Mindest-Stegzahl (bei mittleren Maschinen 20 ... 30 Stege je Pol) erforderlich.

Ebenso kann auch die Nutenzahl nur innerhalb gewisser Grenzen frei gewählt werden. Sie soll 8 je Pol bei mittleren, 12 je Pol bei großen Maschinen nicht unterschreiten. Andererseits soll die Nutenteilung nicht zu klein sein (bei mittleren Maschinen nicht unter 15 mm), weil sonst der Isolationsaufwand zu groß und die Herstellung der Wicklung relativ teuer wird.

Liegt die erforderliche Anker-Windungszahl w_a innerhalb

der ausführbaren Werte der Stegzahl je Pol $\left(\frac{k}{2p}\right)$, dann wählt man $w = 1$, und $a = p$, führt also eine eingängige Schleifen-Stab-Wicklung aus. Soll die Windungszahl w_a größer sein, so kann man entweder w vergrößern, also zur Spulenwicklung übergehen, oder a verkleinern, also Wellenwicklung anwenden. Mit Rücksicht auf den Füllfaktor der Nut zieht man gewöhnlich zunächst das letztere vor.

Man erhält dann bei vielpoligen Maschinen zunächst eine mehrgängige Wellen-Stab-Wicklung, dann, sobald $2w_a$ innerhalb der ausführbaren Werte der Gesamtstegzahl k liegt, eine eingängige Wellen-Stab-Wicklung, bei noch größeren Windungszahlen eine Spulenwicklung in Wellenschaltung.

Bei kleinen Maschinen (kleiner Polfluß Φ) benötigt man meist eine große Windungszahl w_a, erhält also eine Spulenwicklung und bei mehr als zweipoligen Maschinen Wellenschaltung. Für größere Maschinen kommt dagegen fast nur die Stabwicklung in Frage, und zwar insbesondere bei hoher Drehzahl nur als Schleifenwicklung, weil hier schon die in einer Windung induzierte Spannung e den Betrag der zulässigen Stegspannung e_{zl} erreicht (vgl. S. 46).

6. Stromdichte und Strombelag

Nach den bisher erörterten Zusammenhängen kann wohl die Anzahl der benötigten Windungen, nicht aber ihr Querschnitt festgelegt werden. Die Zahl der Windungen richtet sich nach der Spannung, die in der Wicklung induziert werden soll. Der Querschnitt richtet sich dagegen nach der Stromstärke. Ist J_a der Strom der gesamten Ankerwicklung, so ist $J_a : 2a$ der Strom in einem Wicklungszweig, also auch der Strom in jedem einzelnen Leiter. Die Stromdichte bei Nennlast beträgt durchschnittlich 4—5A/mm². Sie kann aber bei kräftiger Kühlung, besonders bei hoher Ankerumfangsgeschwindigkeit, noch höher gewählt werden, während sie

bei sehr langsam laufenden oder weniger gut gekühlten Ankern (z. B. bei geschlossenen Maschinen) oft wesentlich herabgesetzt werden muß.

Wie später gezeigt wird (Bd. II, S. 66), ist aber nicht die Stromdichte allein, sondern ebensosehr der Strombelag maßgebend für die Erwärmung. Unter „Strombelag" versteht man die Summe der Ströme in allen Ankerleitern auf 1 cm Ankerumfang oder die Summe der Ströme in allen überhaupt vorhandenen $(2 \cdot k \cdot w)$ Ankerleitern geteilt durch den Ankerumfang. Bezeichnen wir den Strombelag mit A, so ist

$$A = \frac{J}{2a} \cdot \frac{2k\,w}{\pi D} = \frac{2 \cdot w \cdot J}{\pi D} . \tag{11}$$

Praktisch berechnet man den Strombelag am einfachsten aus der „Nutdurchflutung" $\Theta_n = 2u \cdot w \cdot \frac{J}{2a}$ und der Nutenteilung t_n:

$$A = \Theta_n : t_n . \tag{11a}$$

Der Strombelag ist eine der wichtigsten Grundlagen für die Bemessung jeder elektrischen Maschine (Bd. II S. 68). Er ist auch maßgebend für die Stromwendespannung (S. 78).

III. Der magnetische Kreis der Hauptpole

Das magnetische Feld einer Gleichstrommaschine tritt aus den Polen über den Luftspalt in den Anker ein, und zwar zunächst in die Ankerzähne, dann in den Ankerkern. Im Ständer schließt es sich von Pol zu Pol durch das Joch. Es wird erregt durch die Hauptpolwicklung, die zu diesem Zweck eine bestimmte Durchflutung führen muß. Diese Durchflutung wird als Produkt aus der Zahl der Windungen und der Stromstärke einer Windung berechnet und deshalb auch als „Amperewindungszahl" bezeichnet. Das Ziel der magnetischen Berechnung einer Maschine ist die Ermittlung der erforder-

lichen Durchflutung für jeden beliebigen Betriebsfall, bei Leerlauf oder bei Belastung.

1. Die magnetischen Grundgesetze und Einheiten

Die Grundlagen für die magn. Berechnung sind die Gesetze des magn. Feldes, die schon in einem anderen Bändchen dieser Sammlung[1]) behandelt wurden. Wir wollen diese Gesetze hier kurz zusammenstellen und in die Form bringen, die im folgenden verwendet werden soll.

Der magnetische Induktionsfluß Φ, der schon bei der Berechnung der induzierten Spannung (S. 44) eingeführt wurde, ist mit dieser durch das Induktionsgesetz verknüpft, welches in der allgemeinen Fassung lautet: Die in einer geschlossenen Windung induzierte Spannung ist proportional der Abnahme des von dieser Windung umfaßten magnetischen Flusses. Wir schreiben anstatt „proportional" sogar „gleich":

$$e = -\frac{d\Phi}{dt} \tag{12}$$

und legen dadurch die für Φ zu verwendende Einheit fest: diese Einheit ist derjenige Fluß, der in einer Windung die Spannung 1 Volt induziert, wenn er in der Zeiteinheit (1 sec) vom vollen Wert bis auf Null abnimmt. Dieser Fluß heißt 1 Voltsec oder 1 Weber.

Denken wir uns die Windung immer enger zusammengezogen (Fläche df), so daß in ihrem Bereich überall derselbe magnetische Zustand herrscht, und dabei in eine solche Lage gebracht, daß sie einen möglichst großen Fluß $d\Phi$ umfaßt, so kennzeichnen wir den magnetischen Zustand an dieser Stelle durch die Flußdichte oder „Induktion"

$$B = d\Phi : df. \tag{13}$$

Die Induktion B ist ein Vektor, d. h. sie hat nicht nur eine

[1]) Mohr, Grundlagen der Elektrotechnik 1956 (Sammlung Göschen Band 196).

bestimmte Größe, sondern auch eine bestimmte Richtung, nämlich die Richtung senkrecht zu der Fläche der oben gedachten kleinen Windung. Als Einheit der Induktion folgt aus Gleichung (13): 1 Weber/cm². Diese Einheit ist für den praktischen Gebrauch zu groß. Deshalb rechnet man noch allgemein mit der Einheit der Induktion im sog. absoluten elektromagn. Maßsystem, dem Gauß $= 10^{-8}$ Weber/cm². Die in elektrischen Maschinen vorkommenden Induktionen liegen in der Größenordnung von

$$0{,}0001 \text{ Weber/cm}^2 = 100\,\mu \text{ Weber/cm}^2 = 10000 \text{ Gauß}.$$

Solange sich kein Eisen im Felde befindet, hängt die Induktion oder eine ihr proportionale Größe, die man als magnetische Feldstärke H bezeichnet, in einfacher Weise mit den elektrischen Strömen zusammen. Bildet man nämlich längs einer in sich geschlossenen Feldlinie das Linienintegral der magnetischen Feldstärke, so ist dies proportional der von der Feldlinie umschlossenen elektrischen Durchflutung. Wir schreiben auch hier wieder „gleich" für „proportional":

$$\Theta = \int H \cdot ds \tag{14}$$

und legen dadurch auch die Einheit der Feldstärke fest: Wenn Θ in Amp., s in cm gemessen wird, so muß H in Amp/cm gemessen werden. Wir stellen uns dabei vor, daß von der gesamten Durchflutung Θ auf jedem cm einer Feldlinie ein bestimmter Teil „verbraucht" wird, und nennen den zwischen zwei beliebigen Punkten des Feldes verbrauchten Anteil die magnetische Spannung zwischen diesen Punkten ($V_{1,2}$). Die magnetische Spannung ist also das Linienintegral der Feldstärke zwischen zwei Punkten:

$$V_{1,2} = \int_1^2 H \cdot ds. \tag{14a}$$

Dadurch, daß wir die Einheit der Induktion B aus dem Induktionsgesetz (12), d. h. ausgehend von der induzierten

Spannung, festgelegt haben, die Einheit der Feldstärke H dagegen aus dem Durchflutungsgesetz (14), d. h. ausgehend von den erregenden Strömen, ist der Proportionalitätsfaktor, der B mit H verknüpft, eindeutig festgelegt. Wir schreiben

$$B = \mu \cdot H \tag{15}$$

und nennen μ die Permeabilität. Für Luft und alle unmagnetischen Stoffe ist $\mu = \frac{4\pi}{10} \cdot 10^{-8} \frac{\text{Voltsec}}{\text{cm}^2} : \frac{\text{Amp}}{\text{cm}}$ oder $= 1{,}25$ Gauß: $\frac{\text{Amp}}{\text{cm}}$. Für magnetische Stoffe (Eisen und einige verwandte Metalle) ist dagegen die Permeabilität μ sehr viel größer. Sie ist für diese Stoffe auch nicht konstant. Der Zusammenhang zwischen B und H kann daher nur noch durch experimentell gefundene Kurven (Bild 34) dargestellt werden.

2. Die Berechnung der Erregung bei Leerlauf

Zur Ermittlung der erforderlichen erregenden Durchflutung nach Gl. 14 zerlegt man den Weg einer Feldlinie nach Bild 35 in einzelne Abschnitte, für die man die magnetischen Spannungen nach Gl. 14a berechnet. Aus Symmetriegründen zerfällt dieser Weg zunächst in zwei Hälften, so daß man sich vorstellen kann, daß die Durchflutung der Wicklung eines Poles (θ_e) als magnetische Spannung für die eine Hälfte verbraucht wird. Innerhalb jeder Hälfte des magnetischen Kreises unterscheidet man den Luftspalt (δ), die Ankerzähne (Länge = Nutentiefe h_n), den Ankerkern (Länge der Feldlinien l_a), den Polkern und das Joch (Längen der Feldlinien l_k und l_j).

Ausgangspunkt der Rechnung ist nie die Durchflutung θ_e, also die Summe der magnetischen Spannungen für die eben genannten 5 Teile; denn die Verteilung dieser Spannung auf die einzelnen Teile läßt sich nicht ohne weiteres berechnen[1]).

[1]) Der früher vielfach verwendete Begriff eines „magnetischen Widerstandes" der einzelnen Teile ist praktisch unbrauchbar, weil die magnetischen Widerstände der Eisenteile nicht konstant, sondern von der Induktion abhängig sind.

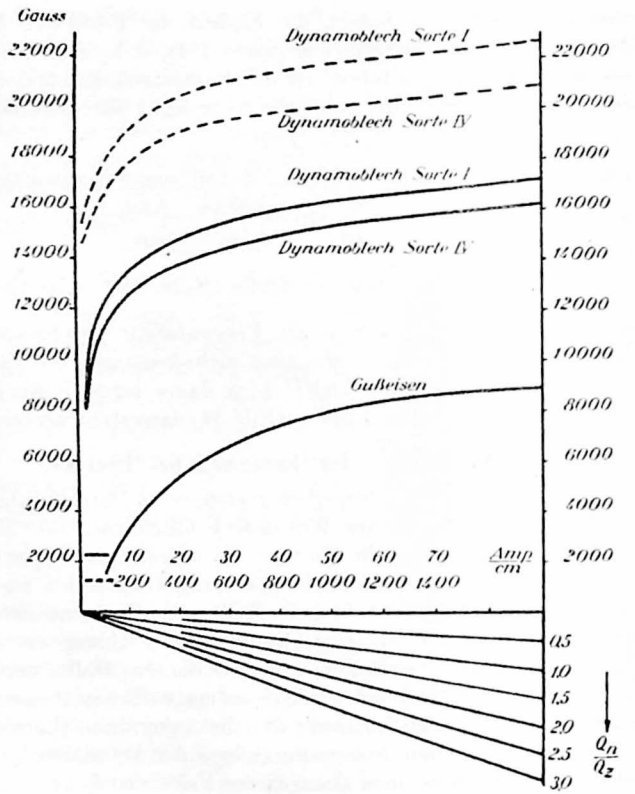

Bild 34. Magnetisierungskurven.

Ausgangspunkt ist vielmehr stets der Fluß eines Poles Φ. Dieser Fluß kann in den Eisenteilen als gleichmäßig verteilt angenommen werden. Nur im Luftspalt und infolgedessen in den Zähnen ist er ungleichmäßig verteilt. Wir beginnen deshalb die Rechnung mit dem Luftspalt, zumal da dieser die

höchste magnetische Spannung aufweist, also den größten Teil der verfügbaren Erregung verbraucht.

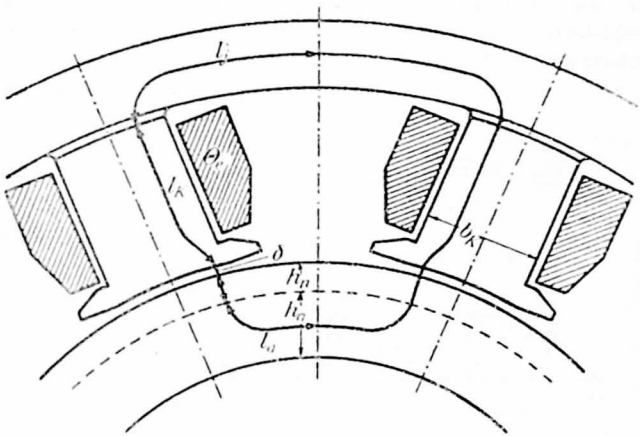

Bild 35. Verlauf einer mittleren Feldlinie.

a) Der Luftspalt

Hier kommt es zuerst darauf an, die „Form des magnetischen Feldes", d. h. die Verteilung des Flusses über die Polfläche oder das Verhältnis der Induktionen an verschiedenen Stellen des Luftspaltes zueinander zu berechnen.

Wegen der hohen Permeabilität des Eisens treten alle Feldlinien aus dem Luftspalt senkrecht zur Oberfläche in das Eisen des Poles oder des Ankers ein. Polfläche und Ankeroberfläche können also bei Leerlauf (und bei glattem Anker) als Flächen gleichen magnetischen Potentiales[1]) betrachtet werden, d. h. zwischen diesen Flächen besteht überall dieselbe magnetische Spannung.

[1]) Obwohl das magnetische Feld als Ganzes kein Potentialfeld, sondern ein Wirbelfeld ist, kann es doch in den Teilen, die von elektrischen Durchflutungen frei sind, als Potentialfeld betrachtet werden.

Der Abstand der Polfläche von der Ankerfläche (der Luftspalt) ist meist nicht konstant, sondern in der Polmitte kleiner (δ), an den Polspitzen größer[1]) (Bild 36). Die magnetische Feldstärke und ebenso die magnetische Induktion ist umgekehrt proportional diesem Abstand.

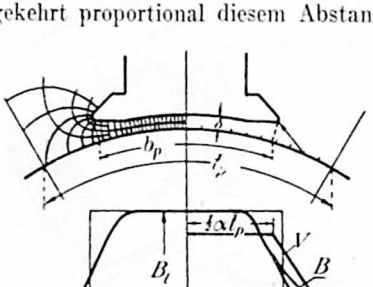

Bild 36. Polschuhform und Feld im Luftspalt. Feldkurve.

Außerhalb der Polspitzen kann die Kurve der magnetischen Induktion längs des Ankerumfangs (Feldkurve) durch Aufzeichnen des Linienbildes und der Äquipotentialflächen bestimmt werden (Bild 36 links). Das Linienbild muß zunächst nach Augenmaß aufgezeichnet und dann schrittweise verbessert werden. Dies Verfahren ist sehr zeitraubend. Für die Praxis genügend genau ist das Steinmetzsche Näherungsverfahren: Man nimmt an, daß die Induktion an irgendeinem Punkt des Ankerumfangs dem Abstand dieses Punktes von der Polfläche umgekehrt proportional ist. Dadurch würde man zunächst eine Feldkurve erhalten, die in der Mitte des Polzwischenraumes nicht durch Null geht, sondern sich in das Gebiet des benachbarten ungleichnamigen Poles hinüber erstreckt. Man muß deshalb weiter annehmen, daß die magnetische Spannung nur bis zu den Polspitzen, also unter dem Polbogen $b_p = \alpha \cdot l_p$, konstant ist und dann linear abnimmt. Die Ordinaten der zunächst erhaltenen Induktionskurve müssen also nach der in Bild 36 mit V bezeichneten Kurve

[1]) Durch diese Gestaltung der Polschuhe wird die Form des magnetischen Feldes verbessert, der Wirbelstromverlust in den Zähnen wird verkleinert (vgl. Band II, S. 33) und das magnetische Geräusch wird vermindert.

umgerechnet, d. h. im Polzwischenraum im Verhältnis $(\frac{1}{2} t_p - x) : \frac{1}{2}(1-\alpha) t_p$ verkleinert werden.

Die Fläche unter der Feldkurve ist ein Maß für den Fluß. Verwandelt man sie in ein Rechteck mit der Höhe B_l (= Luftinduktion in Polmitte), so nennt man die Grundlinie dieses Rechtecks den ideellen Polbogen $b_{pi} = \alpha_i \cdot t_p$ (α_i = ideeller Polbedeckungsfaktor) im Gegensatz zum wirklichen Polbogen $b_p = \alpha \cdot t_p$ (α = wirklicher Polbedeckungsfaktor). Bei Polformen wie in Bild 36 kann man meist genau genug $\alpha_i = \alpha$, also $b_{pi} = b_p$ setzen.

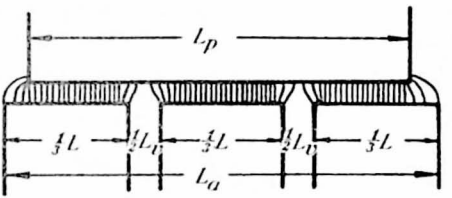

Bild 37. Zur Definition der ideellen Länge.

Auch in axialer Richtung ist die Induktion im Luftspalt nicht konstant. Das Ankereisen ist meist etwas länger als das Poleisen (Bild 37: $L_a > L_p$); auch ist es oft durch Lüftungsschlitze unterteilt, so daß die Länge aller Blechpakete kleiner ist als die Ankerlänge (Bild 37: $L < L_a$). Denkt man sich eine Kurve der Luftinduktion in axialer Richtung aufgezeichnet und diese in ein Rechteck mit der Höhe B_l (Luftinduktion in Blechpaket-Mitte) verwandelt, dann bezeichnet man die Breite dieses Rechtecks als ideelle Maschinenlänge (L_i). Für die praktische Berechnung setzt man genügend genau

$$L_i = \frac{1}{2} \cdot (L + L_p). \tag{16}$$

Hiermit ist die Verteilung des Flusses über die Polfläche bekannt; es ist

(17) $$\Phi = \alpha_i \cdot t_p \cdot L_i \cdot B_l.$$

Die magn. Spannung über den Luftspalt ist

(18) $$V_l = \frac{1}{\mu_0} \cdot \delta \cdot B_l .$$

Setzt man B_l in Gauß ein, δ in cm, so erhält man V_l in Amp mit

(18a) $$\mu_0 = 1{,}25 \frac{\text{Gauß}}{A/\text{cm}}, \text{ also } V_l = \mathbf{0{,}8} \cdot \delta \cdot B_l.$$

Bei einem genuteten Anker wird die Induktion über der Nutenöffnung wesentlich kleiner als über den Zähnen (Bild 38). Die Einsenkung der Feldkurve über einer Nut bedeutet einen

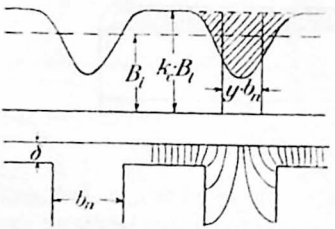

Bild 38. Feldbild beim Nutenanker.

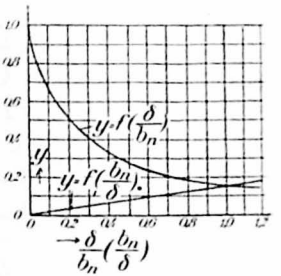

Bild 39. Zur Berechnung des Carter'schen Faktors.

Verlust an Ind.-Fluß gegenüber dem glatten Anker mit gleichem Luftspalt. Der Verlust ist ebenso groß, als ob von der Nutenweite b_n ein Teil $(y \cdot b_n)$ herausgeschnitten wäre und im übrigen überall die volle Induktion herrschte. Bei gegebenem Fluß (gegebener mittlerer Induktion B_l Bild 38) wird die maximale Induktion und damit die magn. Spannung vergrößert im Verhältnis

(19) $$k_C = \frac{t_n}{t_n - y \cdot b_n}$$

t_n = Nutenteilung
b_n = Nutenweite

Jetzt ist

(18b) $$V_l = 0{,}8 \cdot \delta \cdot k_C \cdot B_l.$$

Man nennt k_C den Carter'schen Faktor. y ist abhängig vom Verhältnis $\delta : b_n$ und kann aus Bild 39 entnommen werden.

b) Die Ankerzähne

Der Fluß in einem Zahn ist $\Phi_z = B_l \cdot t_{nk} \cdot L_i$. Der Zahnquerschnitt ist $Q_z = k_p \cdot b_z \cdot L$ („Papierfaktor" $k_p = 0{,}9$ bei 0,5 mm Blechdicke und üblicher Pressung). Die Induktion im Zahn ist also

(20) $$B_z = B_l \cdot \frac{t_{nk} \cdot L_i}{b_z \cdot k_p \cdot L}.$$

Bei hohen Induktionen (etwa über 17000 Gauß) geht ein Teil des Flusses auch durch Nuten, Lüftungsschlitze und Papierzwischenlagen. Der Querschnitt aller dieser Nebenwege sei Q_n. Dann ist

$$Q_n + Q_z = t_n \cdot (L + L_v).$$

Ist H die magn. Feldstärke in Amp/cm an irgendeiner Stelle des Zahnes, so ist der Fluß in den Nebenwegen $\Phi_n = 1{,}25 \cdot H \cdot Q_n$, also der Fluß im Zahn

$$\Phi_z = B_l \cdot t_{nk} \cdot L_i - 1{,}25 \cdot H \cdot Q_n.$$

Nennen wir die ohne Berücksichtigung der Nebenwege berechnete Induktion die scheinbare Zahninduktion B_{zs}, so ist die wirkliche Zahninduktion

(21) $$B_z = B_{zs} - 1{,}25 \cdot H \cdot \frac{Q_n}{Q_z}.$$

Die praktische Berechnung von B_z erfolgt graphisch nach Bild 41. In Bild 34 sind die Hilfsgeraden für verschiedene Werte von Q_n/Q_z eingetragen. Sie gelten nur für den größeren Abszissen-Maßstab (gestrichelte Kurven).

Die Induktion ist längs des Zahnes nicht konstant, weil die Zahnstärke b_z sich ändert. Sie muß deshalb bei größeren Induktionen (etwa über 17000) für mehrere Querschnitte (etwa b_{zk}, b_{zm}, b_{zg} in Bild 40) berechnet werden. Sind H_{zk} H_{zm} H_{zg} die magnet. Feldstärken in A/cm, die diesen drei Induk-

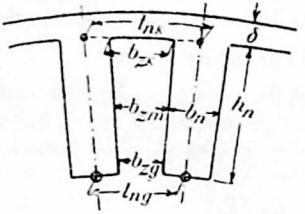

Bild 40. Maße der Zähne und Nuten.

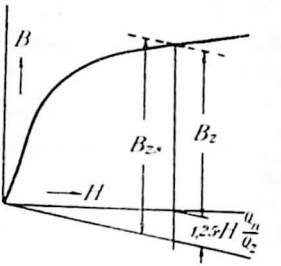

Bild 41. Zur Berechnung der wahren Zahninduktion.

tionen entsprechen, so ist der Mittelwert der magn. Feldstärke $H_z = \frac{1}{6} \cdot (H_{zk} + 4H_{zm} + H_{zg})$ und die magn. Spannung für den Zahn

(22) $V_z = h_n \cdot H_z$.

Bei halb geschlossenen Nuten und bei Nuten mit Keilverschluß wird der Berechnung eine offene Nut ohne Keil zugrunde gelegt.

c) Der Ankerkern

Die magn. Spannung für den Ankerkern ist immer klein und braucht nicht sehr genau berechnet zu werden. Man nimmt deshalb an, daß der Fluß gleichmäßig über den Querschnitt $Q_a = k_p \cdot L \cdot h_a$ (Bild 35) verteilt ist, und rechnet danach die Induktion in diesem Querschnitt B_a und die Feldstärke $H_a = f(B_a)$. Man rechnet dann so, als ob die magn. Feldstärke über die Länge l_a konstant wäre, also

(23) $V_a = H_a \, l_a$.

d) Polkern und Joch

Der Fluß im Polkern und im Joch ist wegen der „Streuung" größer als in den anderen Teilen des magnetischen Kreises. Als magnetische Streuung bezeichnet man allgemein die Erscheinung, daß ein Teil des magnetischen Flusses von dem Wege abweicht, der ihm durch den Konstruktionsgedanken zuge-

wiesen ist, hier also, daß er nicht in den Anker eintritt. Bild 36 zeigt einige Feldlinien, die hiernach zum Streufluß gehören. Eine genaue Berechnung des Streuflusses (Φ_σ) ist nicht möglich. Praktisch begnügt man sich mit mehr oder weniger guten Näherungsrechnungen oder sogar mit einer Schätzung, etwa: $\Phi_\sigma = 20\%$ von Φ.

Man rechnet dann so, als ob im ganzen Polkern und im ganzen Joch der Fluß $\Phi + \Phi_\sigma$ vorhanden wäre. Aus dem Polkernquerschnitt $Q_k = k_p \cdot L_p \cdot b_k$ [1]) (Bild 35 u. 37) errechnet man dann die Induktion im Polkern $B_k = (\Phi + \Phi_\sigma) : Q_k$. Für diese Induktion entnimmt man aus Bild 34 die magnetische Feldstärke (H_k) und erhält dann die magnetische Spannung für den Polkern

(24) $$V_k = H_k \cdot l_k.$$

Ebenso rechnet man für das Joch:

(25) $$B_j = (\Phi + \Phi_\sigma) : 2\,Q_j \text{ [2])} \quad \text{und} \quad V_j = H_j \cdot l_j.$$

e) Die Leerlaufkennlinie

Nach Bild 35 ist die Hälfte der magnetischen Umlaufspannung (entsprechend der Durchflutung einer Polwicklung)

(26) $$\theta_e = V_l + V_z + V_a + V_k + V_j.$$

Da alle diese magnetischen Spannungen nach Gl. 18, 20—22 und 23—25 von der Luftinduktion B_l oder dem Fluß Φ abhängig sind, kann man B_l oder Φ als Kurve abhängig von θ_e auftragen („magnetische Kennlinie", Bild 42).

Auch die in der Ankerwicklung induzierte Spannung E ist für konstante Drehzahl dem Fluß Φ proportional (Gl. 8) und kann ebenso als Funktion von θ_e aufgetragen werden („Leerlaufkennlinie"). Leerlaufkennlinie und magnetische Kennlinie unterscheiden sich voneinander nur durch den

[1]) Wenn der Polkern, wie vielfach üblich, aus stärkeren Blechen als der Anker hergestellt wird (etwa 1,0 mm Blechstärke), dann weicht der Papierfaktor weniger von der Einheit ab als beim Anker (etwa $k_p = 0{,}95$).

[2]) Durch einen Jochquerschnitt geht nur die Hälfte des Polkernflusses.

Ordinaten-Maßstab. In Bild 42 stellen die Ordinaten die induzierte Spannung in Prozenten der Nennspannung oder den magnetischen Fluß bzw. die Luftinduktion ebenfalls in Prozenten der zur Nennspannung und Nenndrehzahl gehörigen Werte dar. Die Abszissen (die Durchflutungen θ_e), die ebenfalls in Prozenten der zum Nennwert gehörigen Erregerdurchflutung angegeben sind, können auch als Ströme in der Erregerwicklung (i_e) aufgefaßt werden. Ist w_e die Windungszahl der Erregerwicklung je Pol, so ist $\theta_e = w_e \cdot i_e$.

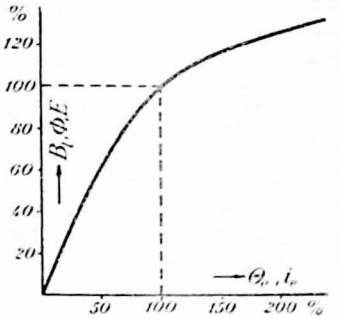

Bild 42. Leerlaufkennlinie.

3. Die Berechnung der Erregung bei Belastung

a) Das Ankerfeld allein

Auch die Ströme in der Ankerwicklung erregen ein magnetisches Feld, das Ankerfeld. Dieses Feld verläuft in jedem Pol von der einen Polspitze zur anderen (Bild 43), also quer zum Hauptpolfeld. Man bezeichnet es deshalb auch als Querfeld (Ankerquerfeld). Im Luftspalt und in den Zähnen verläuft es ebenso wie das Hauptpolfeld (Leer-

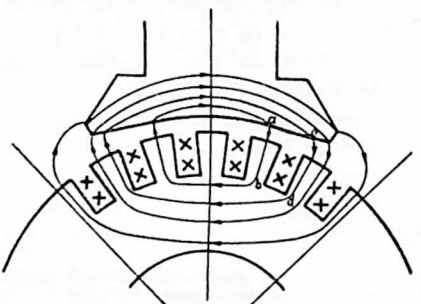
Bild 43. Das Ankerfeld.

lauffeld) angenähert in radialer Richtung. Zur Beschreibung des Ankerfeldes ist es praktisch ausreichend, wenn man an jedem Punkt des Ankerumfangs die radiale Induktion angeben, also eine Feldkurve entsprechend der des Hauptfeldes (Bild 36) zeichnen kann.

Um diese Feldkurve zu finden, muß man das Durchflutungsgesetz (Gl. 14) auf einen Linienzug $b—a—c—d$ (Bild 43) anwenden, der aus zwei im Luftspalt und in den Zähnen verlaufenden Teilen der Feldlinien ($a—b$ und $c—d$) besteht und aus den Zwischenstrecken $a—c$ und $b—d$, die in den schwach gesättigten Eisenteilen des Polschuhes und des Ankers verlaufen. Wenn wir die magnetischen Spannungen für diese beiden letzteren Teile vernachlässigen, dann folgt aus dem Durchflutungsgesetz:

$$V_{c-d} - V_{a-b} = \Theta_n \text{ (Nutdurchflutung).}$$

Führen wir wieder den Strombelag A ein (vgl. S. 54) und denken wir uns die Ankerwicklung ganz gleichmäßig verteilt, wie bei einem glatten Anker oder bei unendlich feiner Nutenteilung, dann können wir das Durchflutungsgesetz auch für 2 nur um das Differential dx auseinanderliegende Feldlinien anschreiben:

$$d(V_{l+z}) = A \cdot dx. \tag{27}$$

Hieraus folgt, daß die Kurve der magnetischen Spannung für Luft und Zähne ($V_{l+z} = V_l + V_z$), die wir als „Felderregerkurve" bezeichnen wollen, das Integral der Strombelagskurve ist.

Bei einem Gleichstromanker mit Durchmesserwicklung ist, wenn die Bürsten in der neutralen

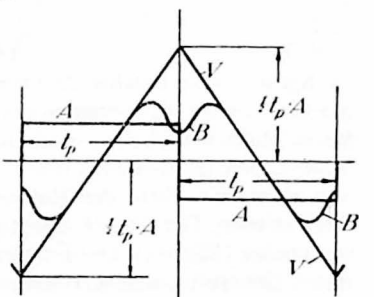

Bild 44. Ankerfelderregerkurve V und Ankerfeldkurve B.

Zone stehen, der Strombelag über die ganze Polteilung konstant. Unter dem folgenden ungleichnamigen Pol hat auch der Strombelag entgegengesetztes Vorzeichen (Bild 44, Kurve A). Aus dieser Kurve folgt als Integral die dreieckförmige Felderregerkurve V. Die Kurve der Induktion im Luftspalt (Feldkurve B) kann im Bereich des Poles gefunden werden, indem man nach Gl. 18b und 20—22 $V_{l+z} = V_l + V_z = f(B_l)$ berechnet („Übertrittskennlinie", Bild 47) und zu jeder Ordinate der Felderregerkurve V den entsprechenden Wert von B_l aus dieser Übertrittskennlinie entnimmt. Bei veränderlichem Luftspalt gilt für jeden Wert von δ eine besondere Übertrittskennlinie. Außerhalb des Polbogens kann die Feldkurve nur angenähert ermittelt werden, etwa durch ein Verfahren ähnlich dem bei der Berechnung der Leerlaufkennlinie angewendeten Steinmetzschen (S. 60).

Wegen der Quellenfreiheit des magnetischen Feldes müssen die aus dem Anker austretenden und die in ihn eintretenden Flüsse (Flächen unter der sattelförmigen Feldkurve B, Bild 44) einander gleich sein. Bei der Symmetrie der Anordnung in dem hier zunächst behandelten Fall der Bürstentellung in der neutralen Zone konnte schon bei der Felderregerkurve die Nullinie so gelegt werden, daß ihre positiven und negativen Spitzen gleich groß wurden:

$$\Theta_a = \tfrac{1}{2}\, l_p \cdot A. \tag{28}$$

Bei unsymmetrischer Anordnung, d. h. wenn die Bürsten um die Strecke x_b, gemessen am Ankerumfang, aus der neutralen Zone verschoben sind, kann man schon die Strombelagskurve (Bild 45) in einen zur Polmitte symmetrischen und einen zur Mitte des Polzwischenraumes symmetrischen Teil zerlegen. Der erstere erregt praktisch dasselbe Ankerfeld wie vorher (Bild 44). Der letztere erregt ein „Längsfeld". Bei einem Generator, dessen Bürsten im Sinne der Ankerdrehung verschoben sind, und ebenso bei einem Motor, dessen Bürsten gegen die Drehrichtung verschoben sind, wirken die „Gegen-

Amperewindungen" $\theta_g = x_b \cdot A$ der Durchflutung der Erregerwicklung θ_e entgegen. Der Hauptfluß ist also nicht mehr mit $2\theta_e$ allein verkettet, sondern mit $2(\theta_e - \theta_g)$. Da eine Bürstenverschiebung aus der neutralen Zone bei neuzeitlichen Maschinen praktisch kaum vorkommt, soll dieser Fall nicht weiter behandelt werden.

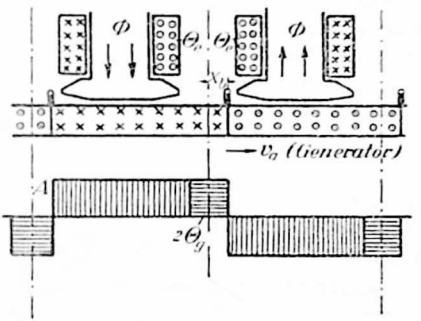

Bild 45. Ankerstrombelag bei Bürstenverschiebung.

b) Das Gesamtfeld der belasteten Maschine (die Ankerrückwirkung).

Das Ankerfeld nach Bild 43 u. 44 überlagert sich dem Hauptfeld. Das Hauptfeld wird dadurch an der einen Polkante verstärkt, an der anderen geschwächt. Bild 46 zeigt die Verteilung der magnetischen Spannung V für Luft und Zähne, wie sie durch Überlagerung der Kurven aus Bild 36 und Bild 44 entsteht. Darunter ist die dieser Felderregerkurve V entsprechende Feldkurve B gezeichnet. Sie zeigt ein verzerrtes Feld. Es hat auch in der Mitte des Polzwischenraumes noch einen endlichen, hier mit B_q bezeichneten Wert. Unter dem Pol ist es nach einer Polkante hin verschoben, und zwar bei einem Generator nach der ablaufenden, bei einem Motor nach der auflaufenden Polkante. Man kann sich vorstellen, daß der

bewegte Generatoranker das magnetische Feld mitzunehmen sucht und es dadurch vor sich her drängt bis an die Kante des Poles, und daß beim Motor das durch den Ankerstrom verzerrte Feld sich wieder auszugleichen sucht und dadurch den Anker in der Richtung von der stärkeren Polkante zur schwächeren mitnimmt.

Der Flächeninhalt der Feldkurve B in Bild 46 ist kleiner als der der Leerlauffeldkurve bei gleicher Erregung. Denn wegen der Sättigung kann die Induktion an der einen Polkante nicht so stark zunehmen, wie sie an der anderen abnimmt. Um diese Schwächung des Hauptfeldes durch das Querfeld wenigstens angenähert auch rechnerisch zu erfassen, denken wir uns wie schon früher (S. 60, Bild 36) das Leerlauffeld durch ein Rechteckfeld von der Breite b_{pi} ersetzt. Das bedeutet, daß wir den Luftspalt über die Breite b_{pi} als konstant annehmen, außerhalb des Polbogens dagegen als unendlich. Dann gilt unter dem Polbogen überall dieselbe Übertrittskennlinie (Bild 47) und die Feldkurve bei Belastung ist ein Ausschnitt aus dieser Übertrittskennlinie, der von der Abszisse $V_0 - \frac{1}{2} b_{pi} \cdot A$ bis zur Abszisse $V_0 + \frac{1}{2} b_{pi} \cdot A$ reicht, wo V_0 die in der Polmitte verfügbare magnetische Spannung für Luft und Zähne bedeutet. Die mittlere Induktion B_m ergibt sich durch Planimetrieren dieser Feldkurve. Sie ist kleiner als die Induktion in der Polmitte B_0, die sich bei Leerlauf

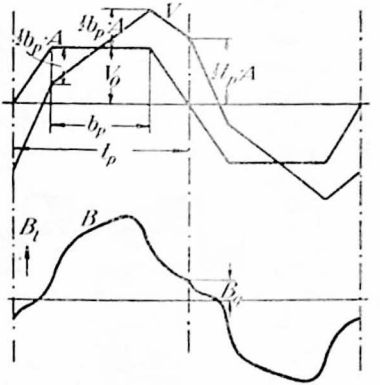

Bild 46. Felderregerkurve und Feldkurve bei Belastung.

über den ganzen Polbogen erstreckt. Bei konstantem Fluß $\Phi = \alpha_i \cdot t_p \cdot L_i \cdot B_m$ ist die magnetische Spannung für Luft und Zähne in der Polmitte und damit auch die gesamte erforderliche Durchflutung der Hauptpolwicklung um den Betrag θ_q vergrößert.

Die Feldverzerrung bei Belastung bringt folgende Nachteile mit sich:

1) Das Hauptpolfeld wird geschwächt, d. h. die zur Erregung des Feldes erforderliche Durchflutung der Hauptpolwicklung wird vergrößert. Das bedingt einen Mehraufwand an Wicklungskupfer und auch eine Vergrößerung des Verlustes in dieser Wicklung.

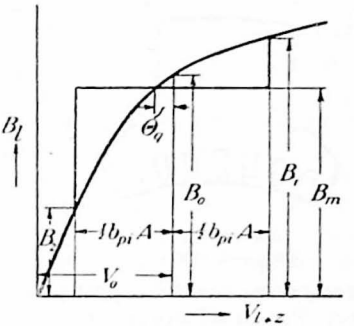

Bild 47. Übertrittskennlinie und Ermittlung der Feldschwächung bei Belastung.

2) Die Drehzahl-Kennlinie der Motoren wird in ungünstigem Sinne verändert (vgl. Bd. II, S. 24).

3) Der Eisenverlust in den Ankerzähnen wird größer, weil die höchste Zahninduktion von B_m auf B_1 (Bild 47) zunimmt.

4) Die höchste Spannung zwischen benachbarten Stromwenderstegen, die bei Leerlauf nach Gl. 10

$$(u_{st\,\max})_0 = \frac{2p \cdot U}{\alpha_i \cdot k}$$

war, wird im Verhältnis $B_1 : B_m$ erhöht.

4. Die Kompensationswicklung

Die Vergrößerung der Stegspannung durch die Feldverzerrung macht es bei großen Maschinen manchmal notwendig, die Feldverzerrung zu beseitigen. Dies geschieht durch eine Kompensationswicklung.

Die Kompensationswicklung soll einen dem Ankerstrombelag angenähert gleichen, aber entgegengesetzt gerichteten Strombelag liefern. Sie wird in ganz oder halb geschlossenen Nuten in den Polschuhen untergebracht (Bild 48) und ist fast immer eine Stabwicklung, oft mit nur einem einzigen Stab je Nut. Die Stäbe werden auf beiden Seiten der Maschine durch Bügel verbunden. Bild 49 zeigt ein Schema der Verbindungen für die Kompensationswicklung einer vierpoligen Maschine mit 6 Stäben je Pol.

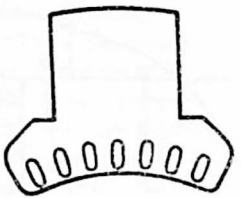

Bild 48. Pol mit Kompensationsnuten.

Die Kompensationswicklung wird mit der Ankerwicklung in Reihe geschaltet. Sie führt entweder den ganzen Ankerstrom oder bei Parallelschaltung einzelner Zweige einen Teil davon. Die Kompensations-Nutenteilung ist meist etwas größer als die Anker-Nutenteilung. Jedenfalls soll sie nicht genau gleich dieser sein.

Die Zahl der Kompensationsstäbe und ihre Schaltung richtet sich nach der geforderten Gleichheit der Strombeläge.

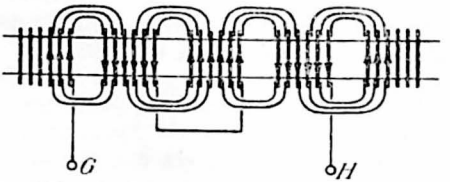

Bild 49. Schema einer Kompensationswicklung.

Beispiel: Ein vierpoliger Turbogenerator für 500 kW (500 V. 1000 A.) hat im Anker 100 Nuten. Jede Ankernut enthält 2 Stäbe. Die Wicklung ist eine Schleifenwicklung mit $a = p = 2$. Jeder Stab führt also $\frac{1}{4}$ des Gesamtstromes. Wird die Kompensationswicklung mit Stäben für den vollen Gesamtstrom

ausgeführt, dann ist für je 2 Ankernuten 1 Kompensationsnut erforderlich. Das entspricht einer Kompensations-Nutenteilung von $\frac{1}{5'0}$ des Umfangs. Ausgeführt ist die Nutenteilung von $\frac{1}{48}$ des Umfangs, damit nicht alle Kompensationsnuten gleichzeitig vor den Öffnungen der Ankernuten liegen. Der Ankerstrombelag ist also nur zu 96% kompensiert. Bei dieser Nutenteilung finden 7 Nuten in einem Polschuh Platz wie in Bild 48; die ganze Ankerdurchflutung ist nur zu $\frac{7}{12} \cdot 96\% = 56\%$ kompensiert.

Neben der Beseitigung der Feldverzerrung hat die Kompensationswicklung die für große Maschinen oft noch wichtigere Wirkung, daß die Stromwendung bei Überlastung verbessert wird (vgl. S. 84). Sie wird deshalb besonders bei solchen großen Maschinen angewendet, die zeitweise starken Überlastungen ausgesetzt sind, wie z. B. Walzenzugmotoren und Fördermotoren und den sie speisenden Steuerdynamos.

5. Die Berechnung der Erregerwicklung

Die Erregerwicklung ist für die größte im Betrieb erforderliche Erregung zu berechnen. Dabei ist folgendes zu beachten: Generatoren müssen nach REM[1]) § 63 imstande sein, in betriebswarmem Zustand bei Nenndrehzahl und Nennleistung eine Spannung zu entwickeln, die um 5% über der Nennspannung liegt. Nach REM § 64 müssen sie auch noch bei 25% Stromüberlastung im betriebswarmen Zustand bei den Nennwerten von Drehzahl und Erregerspannung die Nennspannung erzeugen können. Die Erregung, die für den ungünstigeren dieser beiden Fälle erforderlich ist, wird der Berechnung zugrunde gelegt. Wegen der Unsicherheit der magnetischen Berechnung empfiehlt es sich, $\Theta_{e\,max}$ noch 10% höher einzusetzen, als es berechnet wurde.

Bei Motoren dagegen wird nur verlangt, daß sie in betriebs-

[1]) REM = Regeln für elektrische Maschinen, herausgegeben vom Verband Deutscher Elektrotechniker (VDE).

warmem Zustand die Nenndrehzahl einhalten. Da hier die zulässige Abweichung nach oben und unten gleich groß ist, darf zu der errechneten Erregung kein Zuschlag gemacht werden. Nur wenn die Drehzahl geregelt werden soll, wenn also ohnehin ein Vorwiderstand im Erregerkreis notwendig ist, setzt man die für die niedrigste Drehzahl berechnete Erregung mit einem Sicherheitszuschlag ein.

Bei einer Nebenschluß-Erregerwicklung ist nicht etwa die Windungszahl für die größte erreichbare Erregung maßgebend. Denn mit der Windungszahl wächst der Widerstand. Bei gegebener Erregerspannung nimmt also der Erregerstrom ebensoviel ab wie die Windungszahl zunimmt. Maßgebend ist vielmehr der Querschnitt der einzelnen Windungen. Ist q_e dieser Drahtquerschnitt, L_{me} die mittlere Windungslänge je Pol, ferner $2p$ die Polzahl und ϱ der spez. Widerstand des Wicklungsbaustoffs (Kupfer in betriebswarmem Zustand $\varrho = 0{,}0213 \frac{\text{Ohm} \cdot \text{mm}^2}{m}$), dann ist der Widerstand der Erregerwicklung $R_e = 2p \cdot \varrho \cdot w_e \cdot L_{me} : q_e$. Der Erregerstrom ist $i_e = U_e : R_e$ und die erregende Durchflutung je Pol

$$(29) \quad \Theta_{e\,\max} = i_{e\,\max} \cdot w_e = (U_e \cdot q_e) : (2p \cdot \varrho \cdot L_{me}).$$

Aus dieser Gleichung kann der erforderliche Drahtquerschnitt q_e gefunden werden.

Die Windungszahl der Erregerwicklung und mit ihr das Kupfergewicht ist dagegen nur durch die Rücksicht auf die Erwärmung bestimmt. Man wählt nach Erfahrungsregeln die zulässige Stromdichte s_e, berechnet daraus den zulässigen Erregerstrom $i_e = q_e \cdot s_e$ und dann die Windungszahl $w_e = \Theta_e : i_e$.

IV. Die Stromwendung

1. Die Dauer der Stromwendung

Solange ein Wicklungselement einem bestimmten Stromzweig angehört, führt es den konstanten Strom $J : 2a$

(J = Gesamtstrom des Ankers, $2a$ = Zahl der parallelen Zweige). Nach jeder Halbperiode der in ihm induzierten Wechselspannung wird das Wicklungselement durch den Stromwender und die Bürsten in einen anderen Stromzweig umgeschaltet. Dabei ändert der Strom in dem Wicklungselement seine Richtung. Man bezeichnet diesen Vorgang als „Stromwendung" oder „Kommutierung".

Eine Änderung des Stromes in einem Wicklungselement ist nur möglich, solange der Wicklung auf beiden Seiten dieses Wicklungselementes Ströme von den Bürsten zugeführt werden können, d. h. solange das Wicklungselement von den Bürsten kurzgeschlossen ist (Bild 50). Die Dauer der Stromwendung ist also gleich der Kurzschlußdauer (T_k).

Bei einer einfachen Schleifenwicklung (Bild 50) ist jedes Wicklungselement an zwei benachbarte Stromwenderstege angeschlossen. Es ist also kurzgeschlossen, solange die Isolation zwischen diesen beiden Stegen von den Bürsten überbrückt wird. Die Stromwendung beginnt, wenn diese Isolation unter der „auflaufenden Kante" der Bürste hinweggleitet; sie endet, wenn die Isolation die „ablaufende Kante" passiert. Kennzeichnet man die Dauer der Stromwendung (T_k) durch den Weg, den ein Punkt am Stromwenderumfang (Umfangsgeschwindigkeit v_k) während dieser Zeit zurücklegt ($T_k \cdot v_k$), so sieht man aus Bild 50, daß bei einer einfachen Schleifenwicklung und bei Vernachlässigung der Breite der Isolation

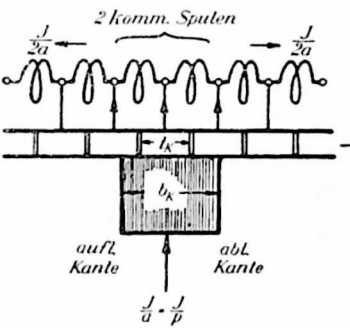

Bild 50. Schema der kommutierenden Spulen bei einer Schleifenwicklung.

zwischen den Stegen die Beziehung besteht

$$T_k \cdot v_k = b_k. \tag{30}$$

Bei einer Wellenwicklung wird ein Wicklungselement nicht durch eine Bürstenreihe kurzgeschlossen, sondern durch zwei gleichpolige, über die Sammelringe verbundene Bürstenreihen, die um eine doppelte Polteilung ($2\,t_{pk}$ am Stromwenderumfang) gegeneinander versetzt sind (Bild 51). Die beiden Stromwenderstege, an welche Anfang und Ende des Wicklungselementes angeschlossen sind, sind voneinander um y Stegteilungen entfernt. Da $y = \frac{k}{p} \pm \frac{a}{p}$, so ist diese Entfernung

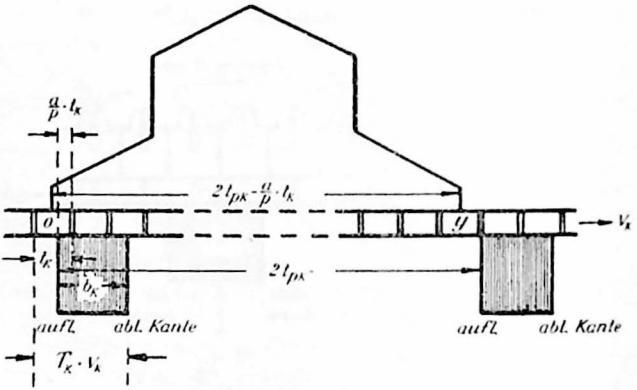

Bild 51. Zur Berechnung der Kurzschlußdauer einer Spule bei einer Wellenwicklung.

$y \cdot t_k = 2\,t_{pk} - \frac{a}{p} \cdot t_k$. Der Kurzschluß des Wicklungselementes beginnt in dem in Bild 51 dargestellten Augenblick, in welchem die auflaufende Kante der Bürste die rechte Kante des Steges y erreicht, und endet, wenn die ablaufende Kante der anderen Bürstenreihe die linke Kante des Steges O verläßt. Der in dieser Zeit zurückgelegte Weg ist

$$T_k \cdot v_k = b_k + \left(1 - \frac{a}{p}\right) t_k. \tag{30a}$$

Für die Schleifenwicklung, für welche $a = p$ ist, geht Formel 30a in Formel 30 über; also gilt Formel 30a allgemein. Sie gilt tatsächlich auch noch für die selten vorkommende zweigängige Schleifenwicklung, bei welcher $a = 2p$ ist.

Für die Bemessung der Wendepole ist es von Wichtigkeit zu wissen, an welchen Stellen des Ankerumfangs Stromwendevorgänge vorkommen können. Wir wollen diesen Bereich die Wendezone nennen. Dabei soll die Lage einer Elementenseite (eines Stabes) gekennzeichnet sein durch die Mitte der Nut, in der dieser Stab liegt; denn alle magnetischen Feldlinien, die links oder rechts von dieser Nutenmitte aus dem Pol austreten, gehen auch links bzw. rechts an allen in der Nut liegenden Stäben vorbei.

Die Breite der Wendezone (b_{wz}) ist d nn gleich dem Weg, den die Mittellinie einer Nut zurücklegt, solange irgendein Stab (oder eine Elementenseite) in dieser Nut in der Stromwendung sich befindet. Wir wollen diese Zeit die Stromwendezeit der Nut (T_{kn}) nennen. Da nebeneinander liegende Stäbe auch an nebeneinander liegende Stromwenderstege angeschlossen sind, beginnt die Stromwendung jedes Stabes um $t_k : v_k$ später als die des vorhergehenden (Bild 52). In untereinander liegenden Stäben findet die Stromwendung gleichzeitig statt, wenn der erste Teilschritt (die Spulenweite, s. S. 38) genau einer Polteilung entspricht $\left(y_1 = \frac{k}{2p}\right)$. Wenn der erste

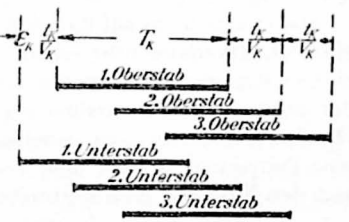

Bild. 52. Stromwendezeiten der einzelnen Stäbe einer Nute und Stromwendezeit der ganzen Nute.

Teilschritt von diesem Wert abweicht ($y_1 = \frac{k}{2p} - \varepsilon_k$, ε_k = „Schrittverkürzung"), dann findet die Stromwendung in den unteren Stäben um den Betrag $\varepsilon_k \cdot \frac{t_k}{v_k}$ früher oder später statt (Bild 52). Die Stromwendezeit der ganzen Nut ist daher

$$(31) \quad T_{kn} = T_k + (u-1) \cdot \frac{t_k}{v_k} + |\varepsilon_k| \cdot \frac{t_k}{v_k} = \\ = \frac{b_k}{v_k} + \left(u - \frac{a}{p} + |\varepsilon_k|\right) \cdot \frac{t_k}{v_k}$$

oder die Breite der Wendezone

$$(31\,a) \quad b_{wz} = T_{kn} \cdot v_a = b'_k + t_n + \left(|\varepsilon_k| - \frac{a}{p}\right) \cdot t'_k.$$

Hier bedeutet v_a die Ankerumfangsgeschwindigkeit, b'_k die auf den Ankerumfang umgerechnete Bürstenbreite:

$$b_k = b_k \cdot \frac{D_a}{D_k} = b_k \cdot \frac{v_a}{v_k}$$

und ebenso t'_k die auf den Ankerumfang umgerechnete Stegteilung. Diese hängt auch mit der Nutenteilung zusammen: $t_n = u \cdot t'_k$.

Dabei kommt es auf das Vorzeichen von ε_k nicht an, d. h eine Schrittverlängerung erhöht die Stromwendezeit der Nut ebenso wie eine Schrittverkürzung. Auch eine Verschiebung der positiven Bürstenreihen gegenüber den negativen (Abstand der Bürstenreihen voneinander größer oder kleiner als eine Polteilung) bewirkt eine Verlängerung der Stromwendezeit der Nut, also eine Verbreiterung der Wendezone.

2. Die Stromwendespannung

Jede Änderung des Stromes in einer Ankerspule, insbesondere also auch die Stromwendung, bedingt eine Änderung

des magnetischen Feldes, welches von dem Strom dieser Spule erregt wird. Durch diese Felddänderung wird eine Spannung (EMK der Selbstinduktion) in der Spule induziert. Wir nennen diese Spannung die Stromwendespannung.

Streng genommen gehört zu der so definierten Stromwendespannung auch die durch Rotation des Ankers vom Ankerfeld (S. 66) induzierte Spannung. Denn ohne die Stromwendung würde das Ankerfeld relativ zum Anker stillstehen, also keine Spannung in irgendeiner Ankerspule induzieren können. Es ist jedoch zweckmäßig und üblich, das gesamte Ankerfeld in zwei Teile zu zerlegen, nämlich das Ankerhauptfeld, welches sich durch die Hauptpole und Wendepole schließt, und das Ankerstreufeld, welches teils quer über die Ankernuten verläuft (Nutenstreufeld), teils die Stirnverbindungen umschließt (Stirnstreufeld). Das Ankerhauptfeld rechnet man gemeinsam mit dem von der Wendepolwicklung erregten Feld zum Wendefeld, die von ihm induzierte Spannung deshalb zur Wendefeldspannung. Die vom Ankerstreufeld induzierte Spannung dagegen bezeichnet man im engeren Sinne als Stromwendespannung („Reaktanzspannung" e_r).

Die Stromwendespannung in einer bestimmten Ankerteilspule wird nicht nur durch die Änderung des Stromes in dieser Spule selbst induziert. Auch die gleichzeitig stattfindenden Stromänderungen in benachbarten Teilspulenseiten (vgl. Bild 52) tragen beträchtlich dazu bei, weil die Wechselinduktivität zwischen benachbarten Teilspulenseiten fast ebenso groß ist wie die Selbstinduktivität einer Teilspulenseite.

Die Stromwendespannung ist proportional der Windungszahl einer Teilspule (w), der Länge einer Windung, der Umfangsgeschwindigkeit des Ankers (v_a) und dem Strombelag (A). Sie ist dagegen praktisch unabhängig von der Bürstenbreite. Denn wenn auch durch eine Vergrößerung der Bürstenbreite die Dauer der Stromwendung verlängert, also die Änderungsgeschwindigkeit des Stromes vermindert wird, so wird doch

andererseits die Zahl der gleichzeitig kommutierenden Teilspulen dadurch erhöht. Man setzt deshalb die Stromwendespannung

$$e_r = \zeta \cdot 2\mathfrak{w} \cdot L_i \cdot v_a \cdot A \cdot 10^{-8}. \tag{32}$$

Dabei ist anstatt der halben Windungslänge die Länge der induzierten Spulenseiten (L_i) eingesetzt, obwohl natürlich auch die Verbindungen einen Beitrag zur Stromwendespannung liefern. Dies hat aber nur Einfluß auf den in dieser Gleichung vorkommenden Beiwert ζ, den man die Pichelmayer'sche Kommutierungskonstante nennt. Bei der üblichen Bauart mittelgroßer und größerer Maschinen kann man diesen Beiwert praktisch als konstant ansehen. Setzt man L_i in cm, v_a in cm/sec, A in A/cm ein, so ist im Mittel

$$\zeta = 5. \tag{32a}$$

3. Die Wendepole

Die Stromwendespannung kann aufgehoben werden durch eine entgegengesetzt wirkende Spannung, die durch die Bewegung des Ankers von einem äußeren Feld in der kommutierenden Spule induziert wird. Dieses äußere Feld nennen wir das Wendefeld, die von ihm induzierte Spannung die Wendefeldspannung. Um in der Wendezone das erforderliche Wendefeld zu erzeugen, bringt man hier besondere Pole an, die Wendepole.

Die erforderliche Induktion unter den Wendepolen (B_w) ist dadurch festgelegt, daß die Wendefeldspannung

$$e_w = 2 \cdot \mathfrak{w} \cdot L_i \cdot v_a \cdot B_w \cdot 10^{-8}$$

der Stromwendespannung

$$e_r = \zeta \cdot 2 \cdot \mathfrak{w} \cdot L_i \cdot v_a \cdot A \cdot 10^{-8}$$

dem Betrage nach gleich sein soll. Daraus ergibt sich

$$B_w = \zeta \cdot A. \tag{33}$$

Bei einem Strombelag von 400—500 A/cm, wie er bei größeren

Maschinen üblich ist, ergibt sich hiernach eine erforderliche Wendefeld-Induktion von etwa $B_w = 2000—2500$ Gauß.

Die Breite der Wendepole soll so bemessen werden, daß das von ihnen ausgehende magnetische Feld möglichst die ganze Wendezone (Breite b_{wz} nach Gl. 31a, S. 78) beherrscht. Häufig würde die Einhaltung dieser Regel zu räumlichen

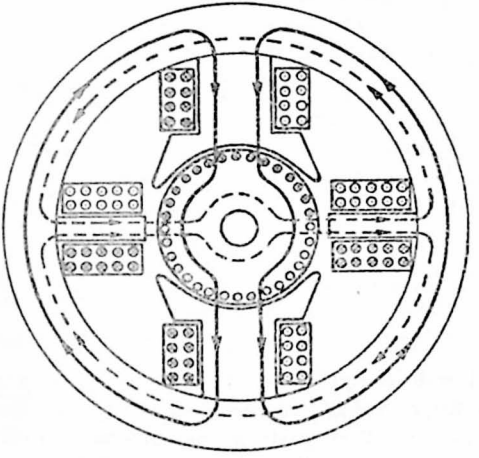

Bild 53. Der magnetische Kreis der Hauptpole und der Wendepole.

Schwierigkeiten führen. Dann muß die Induktion unter dem Wendepol in demselben Maß vergrößert werden, in welchem die Breite der von ihm beherrschten Zone verringert ist. Ebenso muß die Induktion unter dem Wendepol auch vergrößert werden, wenn die Länge der Wendepole oder die Zahl der Wendepole kleiner ist als die der Hauptpole.

Nachdem die Induktion im Wendepol-Luftspalt festgelegt ist, kann für den Wendepolkreis ebenso wie für den Hauptpolkreis (S. 57—66) die erforderliche erregende Durchflutung je

Pol (V_w) berechnet werden. Der Wendepolkreis ist aber im Gegensatz zum Hauptpolkreis nicht nur mit seiner eigenen Erregerwicklung verkettet, sondern auch mit der gesamten Ankerdurchflutung (Bild 53). Diese letztere ist (für einen Pol berechnet)

$$\Theta_a = \tfrac{1}{2} \cdot t_p \cdot A \quad \text{(vgl. S. 68, Gl. 28).}$$

Sie wirkt der Wendepolerregung entgegen, muß also von der Durchflutung der Wendepolwicklung erst aufgehoben werden, ehe das gewünschte Wendefeld entstehen kann. Die erforderliche Durchflutung der Wendepolwicklung ist also

$$\Theta_w = \tfrac{1}{2} \cdot t_p \cdot A + V_w. \tag{34}$$

Vernachlässigen wir zunächst die magnetischen Spannungen in den Eisenteilen des Wendepolkreises, so ist die gesamte magnetische Spannung für den halben Wendepolkreis

$$V_w = 0{,}8 \cdot \delta_w \cdot k_{Cw} \cdot B_w \tag{35}$$

(δ_w = Wendepol-Luftspalt, k_{Cw} = Carter'scher Faktor für die Wendepole) oder mit $k_{Cw} \approx 1{,}25$

$$V_w \approx \delta_w \cdot B_w. \tag{35a}$$

Der Wendepol-Luftspalt soll einerseits nicht zu groß sein, um den Kupferbedarf der Wendepol-Erregerwicklung nicht unnötig zu vergrößern, andererseits auch nicht zu klein, weil sonst die genaue Einstellung der Wendepolerregung bzw. des Wendepol-Luftspaltes schwierig wird. Er beträgt im Mittel etwa 2,5% der Polteilung. Damit wird nach Gl. 33 und 35a

$$V_w = 0{,}025 \cdot t_p \cdot \zeta \cdot A = 0{,}25 \cdot \tfrac{1}{2} t_p A \tag{36}$$

und

$$\Theta_w = 1{,}25 \cdot \tfrac{1}{2} \cdot t_p \cdot A. \tag{36a}$$

Die Genauigkeit dieser Rechnung ist zwar nur gering, nicht nur weil die magnetischen Spannungen in den Eisenteilen des Wendepolkreises vernachlässigt wurden, sondern vor allem auch, weil die Ankerdurchflutung Θ_a genau genommen wesentlich kleiner ist als $\frac{1}{2} \cdot t_p \cdot A$.

In der Wendezone geht nämlich der Strombelag allmählich von $+A$ auf $-A$ über (Bild 54). Das Dreieck der Ankerfelderregerkurve (S. 67, Bild 44) hat deshalb keine Spitze mehr, sondern eine abgerundete Kuppe. Nimmt man der Einfachheit halber einen geradlinigen Übergang des Strombelages von

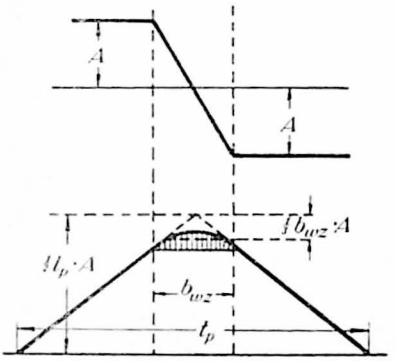

Bild 54. Die Ankerfelderregerkurve bei endlicher Breite der Wendezone.

$+A$ auf $-A$ an, dann hat diese Kuppe die Form einer Parabel und die mittlere Ankerfelderregung im Bereich der Wendezone ist nur noch (Bild 54)

$$0_a = \tfrac{1}{2} \cdot t_p \cdot A - \tfrac{1}{3} \cdot b_{wz} \cdot A. \tag{37}$$

Praktisch pflegt man diese Nebenumstände zu vernachlässigen. Daß dies ohne wesentliche Verschlechterung der Stromwendung möglich ist, liegt einesteils daran, daß die Fehler sich teilweise aufheben, vor allem aber daran, daß man bei großen Maschinen mit schwieriger Stromwendung die Wendepole einstellbar macht, indem man zwischen dem Joch und den Wendepolen einzelne Bleche unterlegt. Durch Wegnahme eines oder mehrerer Bleche kann man dann den Wendepol-Luftspalt vergrößern, durch Hinzufügen weiterer Bleche ihn verkleinern, bis man die beste Stromwendung erreicht hat.

Da die erforderliche Wendepoldurchflutung der Ankerdurchflutung proportional ist, muß die Wendepolwicklung mit der Ankerwicklung in Reihe geschaltet werden. Ist dann die Stromwendung bei Nennlast gut, dann bleibt sie bei allen kleineren Belastungen ebenso gut. Bei Überlast dagegen macht sich die Sättigung in den Eisenteilen des Wendepolkreises unangenehm bemerkbar. Sie bewirkt, daß beim richtigen Wendefeld die magnetische Spannung V_w und somit auch die erforderliche Durchflutung der Wendepolwicklung Θ_w stärker als proportional mit dem Ankerstrom anwächst. Da dies praktisch nicht erreichbar ist, sind die Wendepole bei Überlast zu schwach erregt; von einer gewissen Überlastung ab ist daher Bürstenfeuer unvermeidlich.

Die Sättigung des Wendepolkreises, die diese Erscheinung bewirkt, ist nun nicht nur durch den Nutzfluß der Wendepole bedingt, sondern vor allem durch den Streufluß. Der Streufluß, der bei den Hauptpolen nur etwa 20% des Nutzflusses beträgt, ist bei den Wendepolen viel größer. Denn bei den Hauptpolen wird der Streufluß von derselben Durchflutung getrieben wie der Nutzfluß; bei den Wendepolen dagegen der Nutzfluß durch die Durchflutung $\Theta_w - \Theta_a$, der Streufluß dagegen durch die etwa 5mal größere Durchflutung Θ_w allein.

Dadurch steigt der Streufluß schon auf das 5fache. Außerdem aber ist der Wendepol etwa 4 mal schmaler als der Hauptpol, sein Nutzfluß also in demselben Verhältnis kleiner, ohne daß der Streufluß entsprechend vermindert würde. Dadurch steigt der Streufluß der Wendepole auf etwa 400% des Nutzflusses.

Die schädliche Sättigung im Wendepolkreis kann deshalb vor allem dadurch vermindert werden, daß man den Streufluß verkleinert. Dies geschieht durch die Kompensationswicklung (vgl. S. 71). Denn wenn etwa 60—65% der Ankerdurchflutung schon durch die Kompensationswicklung aufgehoben werden, dann braucht die Wendepolwicklung anstatt 125% nur noch

den Rest von ebenfalls 60—65% der Ankerdurchflutung zu führen und der Streufluß der Wendepole ist nur noch mit dieser kleineren Durchflutung verkettet. Er wird also auf die Hälfte herabgesetzt und die für den funkenfreien Lauf maßgebende Grenze der Proportionalität zwischen Wendefeld und Wendepolerregung wird ganz wesentlich hinausgeschoben. Aus diesem Grunde wird die Kompensationswicklung bei allen solchen Maschinen angewendet, die vorübergehend starken Überlastungen ausgesetzt sind, wie Fördermotoren, Walzenzugmotoren und deren Steuermaschinen.

4. Die Strom-Zeit-Kurven und die Bürstenspannungs-Kurven

Wenn die Stromwendespannung durch die Wendefeldspannung aufgehoben ist, dann ist der zeitliche Verlauf des Stromes in den kurzgeschlossenen Spulen nur noch durch die Bürsten-Übergangswiderstände und die Ohmschen Widerstände von Spulen und Fahnen bedingt („Widerstands-Kommutierung").

In den meisten Fällen können die Widerstände der Spulen und Fahnen gegenüber den Bürstenübergangswiderständen vernachlässigt werden. Dann müssen, wie Bild 55 zeigt, bei aufgehobener Stromwendespannung die Übergangsspannungen in allen von einer Bürste bedeckten Stromwenderstegen gleich groß sein, damit Spannungsgleichgewicht besteht. Gleiche Übergangsspannungen bedeuten aber auch gleiche Stromdichten an allen Stellen der Bürste, denn Übergangsspannung und Stromdichte sind

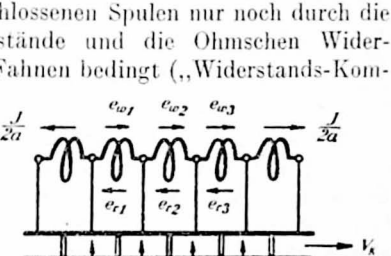

Bild 55. Die Spannungen in den kommutierenden Spulen.

voneinander abhängig nach Kennlinien (Bd. II, Bild 19), die je nach der Bürstensorte verschieden und auch vom Auflagedruck und von der Umfangsgeschwindigkeit und der Temperatur des Stromwenders abhängig sind, die aber für eine bestimmte Bürste an allen Stellen der Übergangsfläche in gleicher Weise gelten.

Eine Stromwendung mit gleicher Stromdichte an allen Stellen der Bürste kann als ideal bezeichnet werden. Denn wenn an keiner Stelle eine höhere als die mittlere Stromdichte und die ihr entsprechende geringe Übergangsspannung von etwa 1 Volt herrscht, dann fehlt jeder Anlaß zur Funkenbildung.

Eine einfache geometrische Betrachtung an Hand von Bild 55 zeigt, daß die gleichmäßige Stromdichte unter den Bürsten bei der Schleifenwicklung einen linearen Übergang des Stromes von $-\frac{J}{2a}$ auf $+\frac{J}{2a}$ bedingt („geradlinige Stromwendung"). Bei einer Wellenwicklung trifft dies nicht mehr zu; hier geht die Stromwendung vielmehr bei gleichmäßiger Stromdichte unter den Bürsten so vor sich, daß der Strom zuerst nur langsam, später schneller und gegen Ende der Stromwendezeit wieder langsamer sich ändert. Dieser zeitliche Verlauf des Stromes ist aber, wenn er wirklich erreicht wird, ebenso günstig wie die geradlinige Stromwendung bei der Schleifenwicklung, weil es in erster Linie nur auf die Stromdichte unter den Bürsten ankommt.

Natürlich ist es nicht immer erreichbar, daß die Stromwendespannung und die Wendefeldspannung genau entgegengesetzt gleich sind. Je größer die Abweichung der Wendefeldspannung von ihrem Sollwert ist, desto ungünstiger wird der Verlauf der Stromwendung.

Fragen wir zunächst nach dem zeitlichen Verlauf des Stromes in einer kurzgeschlossenen Spule (Bild 56), so erkennen wir, daß bei einer zu kleinen Wendefeldspannung

($e_w < e_r$, „Unterkommutierung") die Änderung des Stromes zuerst zu langsam geht (Bild 56, Kurve b), während bei einer zu großen Wendefeldspannung ($e_w > e_r$, „Überkommutierung" der Strom zu rasch dem Endwert zustrebt und dadurch unter Umständen bald diesen Endwert überschreitet (Bild 56, Kurve c). Am Ende der Stromwendezeit aber muß der Strom in beiden Fällen den richtigen Endwert erreicht haben. Dies bedingt oft gegen Ende der Stromwendezeit eine sehr rasche, beinahe plötzliche Änderung des Stromes („Abreißen" des Stromes) und dieses Abreißen ist mit Funkenbildung verbunden. Die ablaufende Kante der Bürste ist deshalb immer mehr gefährdet als die auflaufende Kante.

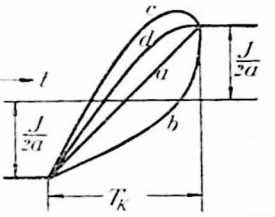

Bild 56. Strom-Zeit-Kurven. a. geradlinige Stromwendung, b. Unterkommutierung, c und d. Überkommutierung.

Allgemein läßt sich feststellen, daß die Neigung der Stromzeitkurve an irgendeiner Stelle (z. B. Anfang, Mitte oder Ende der Stromwendezeit) der mittleren Stromdichte an der zugehörigen Stelle der Bürste (auflaufende Kante, Bürstenmitte oder ablaufende Kante) entspricht. Bei gleich großer Abweichung der Wendefeldspannung von ihrem Sollwert nach oben oder nach unten wird die Abweichung nach unten (Unterkommutierung, Bild 56b) eine viel größere Steilheit der Stromzeitkurve am Ende der Stromwendezeit und damit eine viel größere Stromdichte an der ablaufenden Kante bedingen als eine gleich große Abweichung nach oben (Überkommutierung, Bild 56c). Eine leichte Überkommutierung ist deshalb anzustreben; denn die Funkenbildung an der am meisten gefährdeten ablaufenden Kante wird mit der größten Sicherheit dann vermieden, wenn die Stromdichte an dieser Kante erwartungsgemäß gleich Null werden soll, d. h. wenn die Stromzeitkurve waagerecht in den Endwert einmündet (Bild 56d).

Zur Kennzeichnung der Stromwendung sind neben den Stromzeitkurven (Bild 56) vor allem die Bürstenspannungskurven geeignet, d. h. die Kurven der Übergangsspannung in Abhängigkeit vom Orte unter der Bürste. Ihr Verlauf ergibt sich aus folgender Überlegung. Die Gleichgewichtsbedingung für die Spannungen in einer der Spulen (Bild 55) lautet:

$$\begin{aligned}
&\text{Spule 1:} \quad e_{w1} - e_{r1} = u_{b0} - u_{b1}\\
&\text{Spule 2:} \quad e_{w2} - e_{r2} = u_{b1} - u_{b2}\\
&\qquad\qquad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\\
&\text{Spule } n: \quad e_{wn} - e_{rn} = u_{b(n-1)} - u_{bn}.
\end{aligned}$$

Die Addition aller dieser Gleichungen ergibt

$$\Sigma(e_w - e_r) = u_{b0} - u_{bn}, \tag{38}$$

d. h. die Summe der Überschüsse der Wendefeldspannung über ihren Sollwert, erstreckt über alle zwischen den Kanten einer Bürste liegenden Spulen, ist gleich der Differenz der Übergangsspannungen an der auflaufenden Kante (u_{b0}) und an der ablaufenden Kante (u_{bn}).

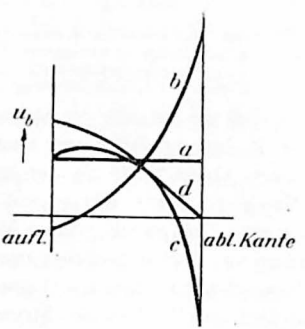

Bild 57. Bürstenspannungs-Kurven. a geradlinige Stromwendung, b Unterkommutierung, c und d. Überkommutierung

Nur bei „geradliniger Stromwendung" sind die Übergangsspannungen an allen Punkten der Bürste gleich groß (Bild 57, Kurve a). Ist die Wendefeldspannung zu klein (Unterkommutierung), dann wird die Spannung an der ablaufenden Kante größer (Bild 57b) und es entstehen dort Funken. Im umgekehrten Fall (Überkommutierung) wird zwar zunächst die Spannung an der auflaufenden Kante vergrößert, die Spannung an der ablaufenden Kante wird aber bald negativ (Bild

57c) und kann leicht wieder so groß werden, daß auch jetzt an dieser Kante Funken entstehen. Nur bei ganz leichter Überkommutierung kann Stromlosigkeit der ablaufenden Kante erreicht werden (Bild 57d).

Die Bürstenspannungskurven können im Gegensatz zu den Stromzeitkurven leicht experimentell beobachtet werden. Ein Spannungsmesser, dessen einer Pol mit der Bürste verbunden wird, während der andere Pol an einer kleinen Hilfsbürste liegt, mißt die Spannung zwischen Bürste und Stromwender. Wird die Hilfsbürste (eine Bleistiftspitze genügt) längs der Hauptbürste verschoben, wobei nur zur genauen Führung der Hilfsbürste eine kleine Hilfsvorrichtung notwendig ist, dann kann man die ganze Bürstenspannungskurve aufnehmen. Aus der Bürstenspannungskurve sieht man dann sofort, ob Überkommutierung oder Unterkommutierung vorliegt, ob also die Wendepolwicklung geschwächt oder verstärkt bzw. ob der Wendepolluftspalt vergrößert oder verkleinert werden muß.

5. Bedingungen für gute Stromwendung

a) Bedingungen elektromagnetischer Art

Die Abweichungen der Wendefeldspannung von ihrem Sollwert, also von der Stromwendespannung, wollen wir als „Funkenspannung" bezeichnen. Wir unterscheiden dabei die Funkenspannung zwischen benachbarten Stromwenderstegen e_{fst}, und die Funkenspannung zwischen den Bürstenspitzen e_{fb}. Zwischen zwei benachbarten Stromwenderstegen liegen bei Wellenwicklung $\frac{p}{a}$ Spulen (S. 49, Bild 30). Dies gilt auch bei Schleifenwicklung, nur ist hier $\frac{p}{a} = 1$. Also ist $e_{fst} = \frac{p}{a} \cdot (e_w - e_r)$. Die Zahl der Stromwenderstege zwischen den Kanten einer Bürste ist im Mittel $= b_k : t_k$, also ist

$$e_{fb} = \frac{b_k}{t_k} \cdot e_{fzt} = \frac{b_k}{t_k} \cdot \frac{p}{a} \cdot (e_w - e_r). \tag{39}$$

Wenn die Wendefeldspannung oder die Stromwendespannung nicht in allen Spulen dieselbe ist, ist ihr Mittelwert einzusetzen, es ist also dann die Funkenspannung zwischen den Bürstenspitzen

$$e_{fb} = \frac{b_k}{t_k} \cdot \frac{p}{a} \cdot (e_w - e_r)_{\text{mittel}}. \tag{39a}$$

Den Unterschied zwischen den Übergangsspannungen an der auflaufenden und an der ablaufenden Bürstenkante, der die Güte der Stromwendung kennzeichnen kann, wollen wir die „Bürstenspitzenspannung" $u_{b\,sp}$ nennen. Es ist also $u_{b\,sp} = u_{bo} - u_{bn}$. Wenn man, wie dies im vorigen Abschnitt geschah, die Ohmsche Spannung an den Spulen und Fahnen vernachlässigt, dann ist nach Gl. 38

$$e_{fb} = u_{b\,sp}. \tag{38a}$$

Die Bürstenspitzenspannung darf je nach Bürstensorte (vgl. Bd. II, Bild 19) etwa 1,5...3 Volt betragen. Mit Berücksichtigung der Spulen und Fahnen, die ja auch einen Teil der Fehler-Spannungen aufnehmen, darf erfahrungsgemäß die Funkenspannung zwischen den Bürstenspitzen bis auf rund 2...4 Volt (je nach Bürstensorte) im Dauerbetrieb ansteigen. Vorübergehend (bei kurzdauernden Überlastungen, z. B. beim Anlauf von Motoren) sind sogar etwa doppelt so hohe Werte zulässig.

Bei Maschinen ohne Wendepole tritt an die Stelle der Wendefeldspannung e_w die entgegengesetzt gerichtete Ankerfeldspannung e_a, die aus der Querfeldinduktion B_q (S. 69, Bild 44 u. 45) berechnet werden kann. Hier ist also die Funkenspannung einer Spule $e_f = e_a + e_r$ und die Funkenspannung zwischen den Bürstenspitzen

$$e_{fb} = \frac{b_k}{t_k} \cdot \frac{p}{a} \cdot (e_a + e_r). \tag{39b}$$

Nur wenn dieser Wert kleiner als 2...4 Volt ist (je nach Bürstensorte), kann eine Maschine ohne Wendepole gebaut werden.

Wenn man die Bürsten einer Maschine ohne Wendepole bei Belastung verschiebt, also eine geeignete Stelle des Hauptpolfeldes als Wendefeld ausnützt, kann man freilich auch hier die Stromwendespannung ausgleichen. Aber dieser Ausgleich stimmt nur für eine bestimmte Belastung; bei jeder Änderung der Last muß man wieder eine andere Bürstenstellung wählen. Nun verlangt man heute von jeder Gleichstrommaschine, auch wenn sie ohne Wendepole gebaut ist, daß sie bei unveränderter Bürstenstellung jede Belastung von Leerlauf bis Nennlast funkenfrei bewältigt. Deshalb kann man die Bürsten nur für eine mittlere Last einstellen; bei jeder anderen Belastung bleibt ein Teil der Stromwendespannung unausgeglichen. Bei Maschinen für wechselnde Drehrichtung müssen die Bürsten sogar in der neutralen Zone stehen bleiben; hier ist also keinerlei Ausgleich der Stromwendespannung möglich.

Bei Maschinen mit Wendepolen ist die Funkengrenze im wesentlichen durch die unvermeidliche Ungenauigkeit der Wendefeld-Abgleichung bedingt. Da mit dem Mittelwert der Stromwendespannung auch dieser Fehler ansteigt, darf auch bei Maschinen mit Wendepolen die Summe der Stromwendespannungen in allen von einer Bürste kurzgeschlossenen Spulen nicht beliebig groß werden. Nach praktischen Erfahrungen liegt die Grenze für diese Summe bei etwa 25...30 Volt. Die Grenze für die in einer Spule zulässige Stromwendespannung wird dann, wenn man mit $b_k : t_k = 3$ als Mittelwert rechnet, bei Schleifenwicklung ($p = a$) ungefähr 8...10 Volt. Bei Wellenwicklung ($p > a$) darf die Stromwendespannung in einer Spule nicht so groß werden; doch kommt Wellenwicklung bei den großen Maschinen, bei welchen die Stromwendespannung überhaupt an die zulässige Grenze herankommt, kaum noch vor. Da bei diesen großen Maschinen auch nur

Stabwicklung in Betracht kommt ($w = 1$), so läßt sich hier nach Gl. 32 eine für die Stromwendung maßgebende Grenze für das Produkt aus Ankerlänge, Umfangsgeschwindigkeit und Strombelag angeben. Diese Grenze liegt bei

$$L \cdot v_a \cdot A = 800000 \ldots 1000000, \tag{40a}$$

wenn L in cm, v_a in m/sec und A in A/cm eingesetzt werden. Diese Grenze gilt aber nur dann, wenn der Wendepol-Luftspalt, wie oben (S. 83) angegeben, nachträglich auf dem Prüfstand verändert, also für beste Stromwendung eingestellt werden kann. Fehlt diese Einstellmöglichkeit, dann ist für $L \cdot v \cdot A$ nur etwa die Hälfte des angegebenen Wertes zulässig.

In derselben Weise, wie sich aus der zulässigen Stromwendespannung ein Grenzwert für $L \cdot v \cdot A$ ausrechnen ließ, kann man aus der zulässigen Stegspannung (S. 47) einen Grenzwert für $L \cdot v \cdot B$ ausrechnen. Setzt man als zulässige höchste Stegspannung 30 Volt ein, so wird dieser Grenzwert

$$L \cdot v_a \cdot B = 15000000. \tag{40b}$$

Übliche Werte für große Maschinen im Dauerbetrieb sind etwa $A = 400 - 500$ A/cm und $B = 10000$ Gauß. Setzt man diese Werte in die Formeln 40a und 40b ein, so ergibt sich in beiden Fällen für das Produkt aus Ankerlänge und Umfangsgeschwindigkeit ein Grenzwert $L \cdot v = 1500 \ldots 2000$. Bei diesen üblichen Werten wird also die zulässige Stegspannung und die zulässige Stromwendespannung gleichzeitig erreicht.

Bei kleinen Hochspannungsmaschinen ist man oft gezwungen, höhere Werte der Stegspannung zuzulassen. Dies ist an sich möglich, weil der große Ohmsche Widerstand der Spulen bei diesen Hochspannungsmaschinen auch bei höherer Stegspannung die Lichtbogenbildung ausschließt. Man muß aber dann den Strombelag A herabsetzen, um trotz der erhöhten Stegspannung keine zu große Stromwendespannung zu erhalten.

Andererseits ist es bei großen Maschinen in letzter Zeit gelungen, durch Mittel, die im folgenden noch besprochen werden

sollen (Dämpfung, S. 96), die Grenze der zulässigen Stromwendespannung erheblich, bis auf das 3fache der oben genannten Werte heraufzusetzen. Dies ermöglicht eine entsprechende Überlastung solcher Maschinen, also eine Erhöhung des Strombelages weit über den im Dauerbetrieb zulässigen Wert, obwohl auch $L \cdot e_a$ die Grenze erreicht, welche hier durch die Stegspannung gezogen ist.

Zu den Bedingungen elektromagnetischer Art gehört auch eine möglichst vollkommene Symmetrie des Wicklungsaufbaus. Auf dieser Forderung sind schon die Wicklungsregeln (S. 38 ff.) aufgebaut. Abweichungen von den Wicklungsregeln, wie z. B. die unregelmäßige Wellenwicklung (S. 42), sind bei kleinen Maschinen mit mäßigen Stromwendespannungen möglich, bei großen Maschinen dagegen nicht. Andere Symmetriefehler, die durch Ungenauigkeiten im mechanischen Aufbau entstehen, können durch Ausgleichsverbindungen mehr oder weniger unschädlich gemacht werden (S. 50). Ausgleichsverbindungen sind deshalb bei großen Maschinen unerläßlich, wenn eine gute Stromwendung gesichert sein soll.

Schon der Umstand, daß meist mehrere Stäbe oder Teilspulenseiten in einer Nut nebeneinander liegen, bedeutet streng genommen eine Abweichung von der vollkommenen Symmetrie der Wicklung. Denn in den verschiedenen Stäben einer Nut findet die Stromwendung an verschiedenen Stellen des magnetischen Feldes statt (vgl. Bild 52) und auch sonst unter verschiedenen Bedingungen, weil die Zahl der gleichzeitig kommutierenden Stäbe nicht immer dieselbe ist. In den mittleren Stäben entsteht durch die Einwirkung der gleichzeitig kommutierenden äußeren Stäbe eine höhere mittlere Stromwendespannung als in den äußeren, die zeitweise für sich allein kommutieren. Auch die Wendefeldspannung ist nicht in allen Stäben einer Nut genau dieselbe. In den Formeln der vorangegangenen Abschnitte konnte immer nur eine mittlere Stromwendespannung und eine mittlere Wendefeldspannung ein-

gesetzt werden. Nur für ein Wicklungselement in jeder Nut kann die Wendefeldspannung genau richtig eingestellt werden. Bei schwierig kommutierenden Maschinen empfiehlt es sich deshalb manchmal, die Nutenzahl Z der Stromwendersteg-zahl k gleich zu machen ($u = 1$).

Neben der eigentlichen Stromwendespannung wird in den kurzgeschlossenen Spulen auch noch eine Spannung durch Pulsation des Hauptfeldes induziert („transformatorische Funkenspannung"). Denn die Spulenseiten der von den Bürsten kurzgeschlossenen Spulen liegen ja in den Pol-zwischenräumen; diese Spulen umschließen also den ganzen Fluß eines Hauptpoles. Dieser Fluß ist auch bei einer Gleich-strommaschine nicht genau konstant, weil mit der Drehung des Ankers der magnetische Widerstand sich ändert. Wenn beispielsweise auf einen Polbogen $7^1/_2$ Nutenteilungen ent-fallen, dann werden einmal 7 Nuten und 8 Zähne, im nächsten Augenblick aber 8 Nuten und 7 Zähne unter dem Pol sich befinden. Im letzteren Fall ist der magnetische Widerstand größer. Damit diese Pulsation des Hauptflusses vermieden wird, soll die Zahl der Nuten Z nicht durch die Zahl der Pole $2p$ teilbar sein, sondern nach Möglichkeit $Z = 2p(q + \frac{1}{2})$ (q eine ganze Zahl). Dann wird nämlich in dem Augenblick, wo der magnetische Widerstand unter den Nordpolen ge-rade einen Höchstwert hat, der magnetische Widerstand unter den Südpolen seinen kleinsten Wert haben und der gesamte magnetische Widerstand wird nur wenig veränderlich sein.

b) Bedingungen mechanischer Art

Funkenbildung an den Bürsten ist durchaus nicht immer auf falsche Einstellung der Wendepole oder ähnliche Ursachen elektromagnetischer Art zurückzuführen. Wo Bürstenfeuer beobachtet wird, sollte deshalb immer zunächst untersucht werden, ob nicht andere, rein mechanische, Ursachen vor-liegen.

Ein schlimmer mechanischer Fehler ist z. B. Unrundheit des Stromwenders. Sie kann insbesondere bei großen Stromwendern vorkommen, weil die Isolierung altert, so daß die Stromwenderstege der Fliehkraft nachgeben und einzeln oder in Gruppen hervortreten können. Abwechselnde Erwärmung und Abkühlung befördert diesen Vorgang. Große Stromwender müssen deshalb oft nach einer gewissen Betriebszeit nochmals nachgespannt und überdreht oder wenigstens überschliffen werden.

Noch schlimmer ist es, wenn die Isolierung zwischen den Stromwenderstegen vorsteht. Die Berührung zwischen Bürsten und Stegen wird dann so schlecht, daß der Strom nur noch durch kleine Lichtbogen übergehen kann. Rasche Zerstörung der Bürsten und der Stromwenderoberfläche ist die Folge. Dieses Vorstehen der Isolierung kann vorkommen, wenn der verwendete Glimmer härter ist als die Kohlen, also insbesondere bei Maschinen mit weichen Kohlenbürsten. In solchen Fällen muß die Isolierung zwischen den Stromwenderstegen ausgesägt (ausgekratzt) werden, so daß sie etwa 1 mm gegenüber der Oberfläche der Stege zurücksteht. Bei Verwendung harter Bürsten und weichen Glimmers ist dies jedoch nicht notwendig.

Damit der Stromwender ruhig läuft, ist eine sorgfältige statische und dynamische Auswuchtung notwendig.

Von großer Bedeutung ist die Auswahl der geeigneten Bürstensorten. Zur Beherrschung schwieriger Stromwendeverhältnisse sind Bürsten mit hoher Übergangsspannung am besten geeignet, also harte Reinkohlen und elektrographitierte Kohlen (Kurven *a* und *d* in Bild 19, Bd. II, S. 38). Für weniger schwierige Stromwendebedingungen, insbesondere bei hohen Gesamtstromstärken, wird man aber Kohlen mit geringerer Übergangsspannung bevorzugen, um weniger Übergangsverluste zu haben. Neben der Übergangsspannung ist in erster Linie noch die Reibungsziffer der Kohlen (Bild 20,

Bd. II, S. 38) für die Verwendbarkeit einer Kohlensorte entscheidend. In dieser Beziehung sind die Reingraphitkohlen und auch die elektrographitierten Kohlen viel günstiger als die harten Reinkohlen. Damit hängt es auch zusammen, daß diese Bürsten eine höhere Strombelastung vertragen; denn eine Bürste, die sich schon durch die Reibungsverluste erheblich erwärmt, kann natürlich nicht gleichzeitig noch ebensoviel Stromübergangsverluste vertragen wie eine andere. Daneben kommt es auch noch auf andere Eigenschaften der Kohlenbürsten an, die weniger leicht zahlenmäßig zu fassen sind. So haben z. B. einige Kohlensorten die Eigenschaft, dem Stromwender eine besonders gute Politur zu verleihen, während ungeeignete schlechte Kohlensorten unter Umständen schon bei Leerlauf das Kupfer des Stromwenders angreifen. Auch die mechanische Härte und Festigkeit der Kohlen ist in manchen Fällen von Bedeutung, besonders bei Maschinen mit unruhigem Lauf.

Ebenso wichtig wie die Bürsten sind auch die Halter, in denen die Bürsten geführt werden. Ihrer Konstruktion ist die allergrößte Sorgfalt zuzuwenden. Geeignete Bauformen sind auf S. 27—29 beschrieben und abgebildet.

6. Die Dämpfung

Schon auf S. 87 war betont worden, daß am Ende der Stromwendezeit mit sehr raschen Stromänderungen („Abreißen" des Stromes) zu rechnen ist, und daß deshalb die ablaufende Kante der Bürste immer besonders gefährdet ist. Dieses Abreißen des Stromes kann ganz wesentlich erleichtert werden, wenn die Teilspule, deren Stromwendezeit eben zu Ende geht (Teilspule a) mit einer anderen noch kurzgeschlossenen Teilspule b magnetisch verkettet ist. Denn wenn dann der Strom in der Teilspule a sich plötzlich ändert, wird der mit der ganzen Spule verkettete Fluß sich trotzdem nicht plötzlich ändern können, weil eine solche plötzliche Änderung

des Flusses in der Teilspule b eine sehr hohe Spannung induzieren würde. Tatsächlich wird deshalb eine plötzliche Zunahme des Stromes in der Teilspule a eine ebenso große plötzliche Abnahme des Stromes in der Teilspule b bedingen, so daß der mit der ganzen Spule verkettete magnetische Fluß sich praktisch nicht ändert und in beiden Teilspulen keine Spannung induziert wird. Dann kann aber auch an der ablaufenden Kante der Bürste beim Austritt der Teilspule a aus dem Kurzschluß kein Funke entstehen; die Stromwendung wird also wesentlich verbessert. Man sagt dann: die Teilspule a ist „gedämpft" aus dem Kurzschluß ausgetreten.

Bei einer gewöhnlichen Wicklung mit u Teilspulen in einer Spule können immer nur $(u - 1)$ Teilspulen gedämpft aus dem Kurzschluß austreten. Die letzte Teilspule tritt ungedämpft aus, weil die mit ihr verketteten Teilspulen in diesem Augenblick nicht mehr kurzgeschlossen sind. Man beobachtet in solchen Fällen oft, daß jeder dritte Stromwendersteg (bei $u = 3$) geschwärzt wird, weil immer beim Austritt der dritten Teilspule aus dem Kurzschluß Funken entstehen.

Eine Verbesserung der Dämpfung ist durch die Treppenwicklung (S. 43) zu erreichen. Denn bei dieser Wicklung besteht eine Teilspule beispielsweise aus einer oberen Teilspulenseite (3 in Bild 26), die ungedämpft austritt, und einer unteren Teilspulenseite (32 in Bild 26), die gedämpft austritt. Die durch das Abreißen des Stromes bedingte Funkenspannung ist also nur noch halb so groß wie bei einer Teilspule, deren beide Seiten ungedämpft aus dem Kurzschluß austreten.

Will man, daß alle Teilspulenseiten gedämpft aus dem Kurzschluß austreten, dann kann man diese Dämpfung nicht mehr durch andere gleichzeitig kommutierende Teilspulenseiten erreichen; denn von den Teilspulenseiten einer Nut muß ja eine als die letzte den Kurzschluß verlassen. Man muß dann vielmehr besondere ständig kurzgeschlossene Windungen anbringen, die aber natürlich nicht wie die Anker-

spulen selbst den Hauptfluß der Maschine umfassen dürfen sondern nur den Nutenstreufluß. Dieser Weg ist von Trettin[1]) mit großem Erfolg beschritten worden. Trettin baut die erforderlichen Kurzschlußwindungen („Nutendämpfer") entweder (Bild 58 a u. b) als biegsame Rahmen, deren Längsseiten oberhalb und unterhalb der Wicklung in den Nuten

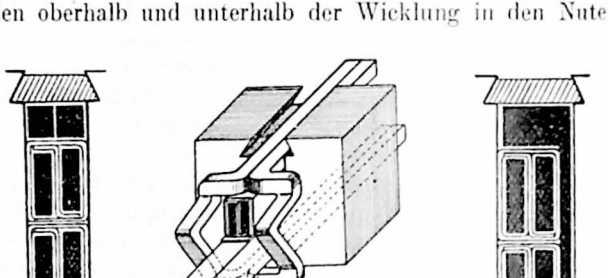

Bild 58. Nutendämpfer nach Trettin.

liegen, während die Querseiten da, wo die Wicklung aus den Nuten austritt, an den Stäben der Wicklung vorbeigeführt werden, oder (Bild 58 c) als Platten, die neben den Stäben die ganze Höhe der Nuten ausfüllen, mit Köpfen oberhalb der Wicklung. Beide Formen von Nutendämpfern werden außerhalb der Nutenisolierung angeordnet. Wie Trettin berichtet[2]), hat er durch diese Nutendämpfer, natürlich unter gleichzeitiger Anwendung der sonst üblichen Hilfsmittel zur Beherrschung der Stromwendung, insbesondere der Kompensationswicklung, Maschinen, deren Stromwendespannung schon bei Nennlast die nach S. 91 zulässige Grenze erreicht, dazu gebracht, daß sie auch bei einer Stromüberlastung auf das Dreifache noch funkenfrei arbeiten.

[1]) C. Trettin, Wiss. Veröff. Siemens 1933, S. 34, und 1936, S. 7
[2]) C. Trettin, E.T.Z. 1938, S. 503.

7. Die Rückwirkung der Kurzschlußströme auf das Hauptfeld

Ist die mittlere Wendefeldspannung gleich der mittleren Stromwendespannung („geradlinige Stromwendung"), dann ist die Durchflutung des Ankers in der Wendezone etwa so verteilt, wie Bild 54 zeigt, jedenfalls aber symmetrisch, d. h. so, daß die Summe aller Ströme in der Wendezone gleich Null ist. Bei Unterkommutierung dagegen verläuft der Strombelag in der Wendezone etwa nach Bild 59. Die Abweichung der Ströme in den kurzgeschlossenen Spulen von den Werten, die diese bei geradliniger Stromwendung haben müßten, bezeichnet man als „zusätzliche Kurzschlußströme". Sie entsprechen dem zusätzlichen Strombelag, der durch die Ordinaten der schraffierten Fläche in Bild 59 dargestellt ist. Diese Fläche ist ein Maß für die resultierende Durchflutung der Wendezone, die jetzt nicht mehr gleich Null ist.

Bild 59. Strombelag in der Wendezone bei Unterkommutierung.

Bei einem Generator mit Unterkommutierung wirken diese zusätzlichen Kurzschlußströme der Erregung der Hauptpole entgegen, sie schwächen also das Hauptfeld der Maschine. Denn die Unterkommutierung bedeutet eine Verzögerung der Stromwendung und wirkt deshalb ebenso, als wenn die Bürsten im Sinne der Drehrichtung verschoben wären (Bild 45, S. 69). Bei Überkommutierung dagegen wirken die zusätzlichen Kurzschlußströme eines Generators feldverstärkend.

Auch bei einem Motor wirken die zusätzlichen Kurzschlußströme bei Unterkommutierung so, als ob die Bürsten in der Drehrichtung verschoben wären. Dies bedeutet aber beim Motor eine Feldverstärkung. Umge-

kehrt entsteht beim Motor mit Überkommutierung eine Feldschwächung.

Bei einer Maschine ohne Wendepole kann bei einer bestimmten Bürstenstellung nur eine bestimmte Belastung richtig kommutiert werden. Bei höherer Belastung entsteht Unterkommutierung, bei niedriger Belastung Überkommutierung. Bei einem Motor ohne Wendepole wird deshalb bei höherer Belastung durch die zusätzlichen Kurzschlußströme das Feld verstärkt, bei niedriger Belastung wird es geschwächt. Beim Generator gilt das Umgekehrte. Die zusätzlichen Kurzschlußströme wirken also bei einem Motor ohne Wendepole wie eine feldverstärkende Verbundwicklung, bei einem Generator ohne Wendepole wie eine feldschwächende Verbundwicklung (Gegen-Verbundwicklung).

Bei einer Maschine mit Wendepolen wird, wenn die Wendepole zu stark sind, bei allen Belastungen Überkommutierung entstehen. Die zusätzlichen Kurzschlußströme sind dann in erster Annäherung proportional der Belastung, sie wirken daher bei einem Motor wie eine feldschwächende Verbundwicklung, bei einem Generator wie eine feldverstärkende Verbundwicklung. Bei zu schwachen Wendepolen gilt das Umgekehrte; doch kommt dies praktisch weniger in Betracht, da man mit Rücksicht auf die Funkenbildung immer eher eine leichte Überkommutierung einstellen muß (vgl. S. 87).

Motoren mit Wendepolen neigen deshalb oft zur Unstabilität (vgl. Bd. II S. 24) und benötigen zum Ausgleich dieser Wirkung eine schwache feldverstärkende Verbundwicklung.

Schrifttum

Arnold-La Cour, Die Gleichstrom-Maschine, Verlag Springer. Band I, Theorie und Untersuchung, 3. Auflage 1919. Band II, Konstruktion, Berechnung und Arbeitsweise, 3. Auflage 1927.

R. Richter, Elektrische Maschinen, Band I., 2. Auflage 1951. Verlag Birkhäuser, Basel.

C. Trettin, Die Gleichstrom-Maschine, in Rziha und Seidener, Starkstromtechnik, 7. Auflage. Verlag Ernst u. Sohn, 1930.

Bödefeld-Sequenz, Elektrische Maschinen, 5. Auflage 1952. Verlag Springer.

M. Zorn, Die Gleichstrom-Maschine in Rziha, Starkstromtechnik, 8. Auflage 1955. Verlag Ernst & Sohn.

Moeller-Werr, Leitfaden der Elektrotechnik, Band II, Teil I, Gleichstrommaschinen, 6. Auflage 1954. Verlag Teubner.

W. Nürnberg, Die Prüfung elektrischer Maschinen, 3. Auflage 1955. Verlag Springer.

Sachregister für Band I und II

Amplidyne II, 19
Ankerkörper I 16
Ankerrückwirkung I 69
Ankerwicklung I 18, 34
Anlaßwiderstand II 20, 28
Ausgleichsverbindungen I 48
Ausnützungszahl II 66
Aussetzender Betrieb II 61

Beanspruchungen, elektromagnetische II 69
Berechnungsbeispiel II 76
Bremsung II 30
Bürsten I 26
Bürstenhalter I 27
Bürstenreibung II 39
Bürstenspannungs-Kurve I 88
Bürstenspitzenspannung I 90
Bürstenübergangsverlust II 37, 49

Carter'scher Faktor I 62
Doppelschlußerregung II 5, 26
Drehmoment II 21
Drehschub, mittl. II 67
Drehzahlregelung II 26
Drehzahlverhalten II 21
Ebenmaß II 72
Einzelverlustverfahren II 46
Eisenverluste II 33
Entwurf der Ankerwicklung I 55
Entwurfsgleichung II 64
Erregerstrom-Kennlinien II 6
Erregerwicklung I 73
Erregungsverlust II 37, 47
Erwärmung II 50
Erwärmungsformeln II 55
Felderregerkurve I 67
Fremderregung II 5
Funkenspannung I 89
Gegenerregung II 6
Geschlossene Maschinen II 58
Größenbemessung II 63
Hauptabmessungen II 64
Hauptpole I 14
Hauptpolwicklung I 14
Hysteresisverlust II 34
Induzierte Spannung I 44
Innere Leistung II 64
Isolierung I 22

Kennlinien von Motoren II 21
Kennlinien von Stromerzeugern II 6
Klemmenbezeichnung II 5
Kohlenbürsten I 26
Kompensationswicklung I 71
Kritische Drehzahl II 10
Kritischer Widerstand II 9
Kurzschlußdauer I 75
Kurzzeitiger Betrieb II 61

Lager I 30
Laststrom-Kennlinien II 6
Lastverluste II 42
Leerlaufkennlinie I 65
Leerverluste II 41, 47
Leonardschaltung II 30
Lichtbogenschweißung II 11
Luftspaltfeld I 59
Lüftung I 33

Magnetischer Kreis I 54
Metadyne II 16

Nebenschlußerregung II 5, 20
Nebenschlußmotor II 22, 31
Nennlast II 7
Nutenanker I 35
Nutendämpfer I 98

Pichelmayer'sche Kommutierungskonstante I 80
Polzahl II 73
Pulsation des Hauptpolflusses I 94

Querfeld-Maschinen II 14

Reaktanzspannung I 79
Reibungsverluste II 39
Reihenschlußerregung II 5, 20
Reihenschlußmotor II 22, 25, 32
Rückarbeitsverfahren II 44

Schablonenwicklung I 18
Schaltung von Motoren II 20
Schaltung von Stromerzeugern II 5
Schleifenwicklung I 38
Schutzarten I 31
Schweißstromerzeuger II 11
Selbsterregung II 7
Spannungsabfalldreieck II 6
Spannungsänderung II 7
Spulenwicklung I 18
Stabwicklung I 18
Stegspannung I 46
Stoßkennlinie II 14
Stoßkurzschlußstrom II 14
Streuung I 64
Strombelag I 54
Stromdichte I 53
Stromwärmeverluste II 37, 47
Stromwender I 23
Stromwendespannung I 78
Stromwendung I 74
Symmetrie der Wicklung I 93

Temperaturmessung II 51
Treppenwicklung I 43
Trommelwicklung I 34
Typenreihe II 74

Überkommutierung I 87
Übertrittskennlinie I 68
Umpolung II 10
Unregelmäßige Wellenwicklung I 42
Unterkommutierung I 87

Verbundwicklung II 8
Verluste II 33

Wärmeabgabezahl II 55
Wellenwicklung I 39
Wendepole I 16, 80
Wendepolerregung I 82
Wendepolwicklung I 16
Wendezone I 77
Wicklungselement I 35
Wicklungsregeln I 38
Widerstandsgerade II 8
Widerstands-Kommutierung I 85
Wirbelstromverlust II 34
Wirkungsgrad II 42

Zeitkonstante der Erwärmung II 60
Zusatzverluste II 39, 49

Neuauflage!

A. DÄSCHLER

Elektrotechnik

Ein Lehrbuch für den Praktiker

2., verbesserte Auflage. Oktav. VIII, 214 Seiten mit 266 Abbildungen. 1956. DM 8,60

„... Nach fachmännischem Ermessen unmißverständlich gehalten, ist dieses Werk ein ausgesprochenes Lehrbuch und eine wertvolle Hilfe sowohl für den Lehrenden und Lernenden der gewerblichen Berufsschulen, als auch für den jungen Menschen in der praktischen Ausbildung und den fertigen Praktiker." Elektro-Zentralblatt

H. GERSTENBERG

Einführung in die Elektrotechnik

Oktav. Mit 326 Abbildungen und 121 Beispielen. XII, 367 Seiten. 1953. Halbleinen DM 16,—

„Das Werk hat einen vorzüglichen Aufbau und eine persönliche Note, die sich in der leichtverständlichen Schreibweise, den guten Abbildungen und besonders in den zahlreichen Beispielrechnungen dokumentiert. Es wird eine umfassende Einführung in die Gleich- und Wechselstrom-Technik gegeben, der sich in einem zweiten Teil die elektrische Meßtechnik anschließt. Die saubere Arbeit hält eine gute Mitte zwischen ‚zu hoch' und ‚zu niedrig'; sie wird darum den technischen Berufen eine sichere und gute Grundlage beim Selbststudium dieses Lehrfaches bauen."

Allgemeine Schlosser- und Maschinenbauer-Zeitung.

G. MAIER

Die Grundlagen der Elektrotechnik

2., vollständig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Groß-Oktav. Mit 397 Textabbildungen und 164 durchgerechneten Beispielen. 527 Seiten. 1950. Halbleinen DM 12,—

„Das Buch, das wohl für den Studierenden einer Ingenieurschule gedacht ist, aber auch dem Hochschulstudenten als Einführung in die Berechnung der Probleme der Elektrotechnik dienen kann, zeichnet sich durch klaren Aufbau und gutverständliche Darstellung aus. Die Ausführungen werden durch eine große Zahl von Textabbildungen unterstützt.

Als besonderer Vorzug... ist die große Zahl der vollständig durchgerechneten Beispiele anzusehen. Sie sind am Schluß des Buches in besonderen Abschnitten zusammengefaßt."

Fernmeldetechnische Zeitschrift

TECHNISCHER VERLAG HERBERT CRAM, BERLIN W 35

FRITZ RASKOP

Berechnungsbuch des Elektromaschinenbauer-Handwerkers (Ankerwicklers)

Anleitung und Tabellen für die Berechnung der Wickeldaten bei Instandsetzungen, Neu- und Umwicklungen von elektrischen Maschinen und Apparaten

7., vermehrte und verbesserte Auflage. Oktav. Mit 45 Textabbildungen und 56 Tabellen. XI, 209 Seiten. 1953. Ganzleinen DM 12,—

Der Katechismus für die Ankerwickelei

Leitfaden für die Herstellung der Wicklungen an elektrischen Maschinen, Transformatoren und Starkstromapparaten

11., vermehrte u. verbesserte Auflage. 35.—38. Tausend. Oktav. Mit 356 Abbildungen und Wicklungsschaltbildern. XVI, 441 Seiten. 1953. Ganzleinen DM 20,—

Das Elektromaschinenbauer-Handwerk

Instandsetzung, Neuwicklung und Umbau elektrischer Maschinen, Transformatoren und Apparate

3. Auflage. Oktav. 384 Seiten. 1949. Ganzleinen DM 18,—

„Ungeachtet der schlichten und leichtfaßlichen Darstellung . . . wird überall tief ins technische Detail eingegangen, und so wird nicht bloß Wissen, sondern mehr noch wirkliches Können eingprägsam vermittelt. Es ist ein ausgezeichnetes Handbuch für den praktischen Maschinenelektriker, das jeder Berufsangehörige lesen sollte". Österr. Maschinenmarkt

EMA

Die elektrische Maschine. Fachliche Mitteilungen für Elektromaschinen-, Transformatoren- und Starkstrom-Apparatebau Herausgegeben von F. Raskop.

Oktav. Erscheinungsweise: monatlich 1 Heft mit 32 Textseiten. — Bezugspreis: ab Heft 1/1950 DM 2,40 je Heft, vierteljährlich DM 7,20 zuzüglich Postzustellgebühr. — Jahrgang 1948: Heft 1—6 je Doppelheft DM 4,—, Heft 7—12 je Doppelheft DM 3,—. — Jahrgang 1949: Heft 1—12 je Doppelheft DM 3,—, ab Heft 1/1956 DM 3,— je Heft

TECHNISCHER VERLAG HERBERT CRAM, BERLIN W 35

Mehr als 300 Bände

der kurzen, klaren, allgemeinverständlichen
Einzeldarstellungen sind schon wieder lieferbar.

SAMMLUNG GÖSCHEN

Jeder Band DM **3,60** — Doppelband DM 5,80

Stand Mai 1959

WALTER DE GRUYTER & CO.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.

BERLIN W 35

Inhaltsübersicht

	Seite
Biologie	13
Botanik	13
Chemie	12
Deutsche Sprache und Literatur	6
Elektrotechnik	15
Englisch	7
Erd- und Länderkunde	8
Geologie	14
Germanisch	7
Geschichte	5
Griechisch	8
Hebräisch	8
Hoch- und Tiefbau	18
Indogermanisch	7
Kristallographie	14
Kunst	5
Land- und Forstwirtschaft	14
Lateinisch	8
Maschinenbau	16
Mathematik	9
Mineralogie	14
Musik	4
Pädagogik	3
Philosophie	3
Physik	11
Psychologie	3
Publizistik	9
Religionswissenschaften	4
Romanisch	7
Russisch	8
Sanskrit	8
Soziologie	3
Statistik	9
Technik	15
Technologie	13
Volkswirtschaft	9
Vermessungswesen	18
Wasserbau	17
Zoologie	14

Geisteswissenschaften

Philosophie

Einführung in die Philosophie von *H. Leisegang* †. 3. Auflage. 145 Seiten. 1957. (*281*)

Hauptprobleme der Philosophie von *G. Simmel* †. 7., unveränderte Auflage. 177 Seiten. 1950. (*300*)

Geschichte der Philosophie

I: Die griechische Philosophie von *W. Capelle*. 1. Teil. Von Thales bis Leukippos. 2., erweiterte Auflage. 135 Seiten. 1953. (*857*)

II: Die griechische Philosophie von *W. Capelle*. 2. Teil. Von der Sophistik bis zum Tode Platons. 2., stark erweiterte Auflage. 144 Seiten. 1953. (*858*)

III: Die griechische Philosophie von *W. Capelle*. 3. Teil. Vom Tode Platons bis zur Alten Stoa. 2., stark erweiterte Auflage. 132 Seiten. 1954. (*859*)

IV: Die griechische Philosophie von *W. Capelle*. 4. Teil. Von der Alten Stoa bis zum Eklektizismus im 1. Jahrh. v. Chr. 2., stark erweiterte Auflage. 132 Seiten. 1954. (*863*)

V: Die Philosophie des Mittelalters von *J. Koch*. In Vorbereitung. (*826*)

VI: Von der Renaissance bis Kant von *K. Schilling*. 234 Seiten. 1954. (*394/394a*)

VII: Immanuel Kant von *G. Lehmann*. In Vorbereitung. (*336*)

VIII: Die Philosophie des 19. Jahrhunderts von *G. Lehmann*. 1. Teil. 151 Seiten. 1953. (*371*)

IX: Die Philosophie des 19. Jahrhunderts von *G. Lehmann*. 2. Teil. 168 Seiten. 1953. (*709*)

X: Die Philosophie im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts I von *G. Lehmann*. 128 Seiten. 1957. (*845*)

Die geistige Situation der Zeit (1931) von *K. Jaspers*. 4., unveränderter Abdruck der 1932 bearbeiteten 5. Auflage. 211 Seiten. 1955. (*1000*)

Erkenntnistheorie von *G. Kropp*
I. Teil: Allgemeine Grundlegung. 143 Seiten. 1950. (*807*)

Formale Logik von *P. Lorenzen*. 165 Seiten. 1958. (*1176/1176a*)

Philosophisches Wörterbuch von *M. Apel* †. 5., völlig neubearbeitete Auflage von *P. Ludz*. 315 Seiten. 1958. (*1031/1031a*)

Philosophische Anthropologie. Menschliche Selbstdeutung in Geschichte und Gegenwart von *M. Landmann*. 266 Seiten. 1955. (*156/156a*)

Pädagogik, Psychologie, Soziologie

Geschichte der Pädagogik von *Herm. Weimer*. 13., durchgesehene und vermehrte Auflage von *Heinz Weimer*. 178 Seiten. 1958. (*141*)

Therapeutische Psychologie. Ihr Weg durch die Psychoanalyse von *W. M. Kranefeldt*. Mit einer Einführung von *C. G. Jung*. 3. Auflage. 152 Seiten. 1956. (*1034*)

Allgemeine Psychologie von *Th. Erismann*. 3 Bände.
I: Grundprobleme. 2., neubearbeitete Auflage. 146 Seiten. 1958. (*831*)
II: Grundarten des psychischen Geschehens. 248 Seiten. 1959. (*832/832a*)
III: Psychologie der Persönlichkeit. In Vorbereitung. (*833*)

Soziologie. Geschichte und Hauptprobleme von *L. von Wiese*. 5. Auflage. 162 Seiten. 1954. (*101*)

Sozialpsychologie von *P. R. Hofstätter*. 181 Seiten, 15 Abbildungen, 22 Tabellen. 1956. (*104/104a*)

Empirische Sozialforschung von *G. K. Specht*. 1959. In Vorbereitung. (*1171*)

Psychologie des Berufs- und Wirtschaftslebens von *W. Moede* †. 190 Seiten, 48 Abbildungen. 1958. (*851/851a*)

Industrie- und Betriebssoziologie von *R. Dahrendorf*. 120 Seiten. 1956. (*105*)

Religionswissenschaften

Jesus von *M. Dibelius* †. 2. Auflage. Unveränderter Nachdruck. 141 Seiten. 1949. (*1130*)

Paulus von *M. Dibelius* †. Nach dem Tode des Verfassers herausgegeben und zu Ende geführt von *W. G. Kümmel*. 2., durchgesehene Auflage. 155 Seiten. 1956. (*1160*)

Luther von *F. Lau*. 151 Seiten. 1959. (*1187*)

Römische Religionsgeschichte von *F. Altheim*. 2 Bände. 2., umgearbeitete Auflage.
I: Grundlagen und Grundbegriffe. 116 Seiten. 1956. (*1035*)
II: Der geschichtliche Ablauf. 164 Seiten. 1956. (*1052*)

Geschichte Israels. Von den Anfängen bis zur Zerstörung des Tempels (70 n. Chr.) von *E. L. Ehrlich*. 158 Seiten, 1 Tafel. 1958. (*231/231a*)

Musik

Musikästhetik von *H. J. Moser*. 180 Seiten. Mit zahlreichen Notenbeispielen. 1953. (*344*)

Systematische Modulation von *R. Hernried*. 2. Auflage. 136 Seiten. Mit zahlreichen Notenbeispielen. 1950. (*1094*)

Der polyphone Satz von *E. Pepping*. 2 Bände.
I: Der cantus-firmus-Satz. 2. Auflage. 223 Seiten. Mit zahlreichen Notenbeispielen. 1950. (*1148*)
II: Übungen im doppelten Kontrapunkt und im Kanon. 137 Seiten. Mit zahlreichen Notenbeispielen. 1957. (*1164/1164a*)

Allgemeine Musiklehre von *H. J. Moser*. 2., durchgesehene Auflage. 155 Seiten. Mit zahlreichen Notenbeispielen. 1955. (*220/220a*)

Harmonielehre von *H. J. Moser*. 2 Bände.
I: 109 Seiten. Mit 120 Notenbeispielen. 1954. (*809*)

Die Musik des 19. Jahrhunderts von *W. Oehlmann*. 180 Seiten. 1953. (*170*)

Die Musik des 20. Jahrhunderts von *W. Oehlmann*. 1959. In Vorbereitung. (*171/171a*)

Technik der deutschen Gesangskunst von *H. J. Moser*. 3., durchgesehene und verbesserte Auflage. 144 Seiten, 5 Figuren sowie Tabellen und Notenbeispiele. 1954. (*176/176a*)

Die Kunst des Dirigierens von *H. W. von Waltershausen* †. 2., vermehrte Auflage. 138 Seiten. Mit 19 Notenbeispielen. 1954. (*1147*)

Die Technik des Klavierspiels aus dem Geiste des musikalischen Kunstwerkes von *K. Schubert* †. 3. Auflage. 110 Seiten. Mit Notenbeispielen. 1954. (*1045*)

Kunst

Stilkunde von *H. Weigert*. 2 Bände. 3., durchgesehene und ergänzte Auflage.
I: Vorzeit, Antike, Mittelalter. 136 Seiten, 93 Abbildungen. 1958. (*80*)
II: Spätmittelalter und Neuzeit. 150 Seiten, 88 Abbildungen. 1958. (*781*)

Archäologie von *A. Rumpf*. 2 Bände.
I: Einleitung, historischer Überblick. 143 Seiten, 6 Abbildungen, 12 Tafeln. 1953. (*538*)
II: Die Archäologensprache. Die antiken Reproduktionen. 136 Seiten, 7 Abbildungen, 12 Tafeln. 1956. (*539*)

Geschichte

Einführung in die Geschichtswissenschaft von *P. Kirn*. 3., durchgesehene Auflage. 128 Seiten. 1959. (*270*)

Zeitrechnung der römischen Kaiserzeit, des Mittelalters und der Neuzeit für die Jahre 1—2000 n. Chr. von *H. Lietzmann* †. 3. Auflage, durchgesehen von *K. Aland*. 130 Seiten. 1956. (*1085*)

Kultur der Urzeit von *F. Behn*. 3 Bände. 4. Auflage der Kultur der Urzeit Bd. 1—3 von *M. Hoernes*.
I: Die vormetallischen Kulturen. (Die Steinzeiten Europas. Gleichartige Kulturen in anderen Erdteilen.) 172 Seiten, 48 Abbildungen. 1950. (*364*)
II: Die älteren Metallkulturen. (Der Beginn der Metallbenutzung. Kupfer- und Bronzezeit in Europa, im Orient und in Amerika.) 160 Seiten, 67 Abbildungen. 1950. (*365*)
III: Die jüngeren Metallkulturen. (Das Eisen als Kulturmetall, Hallstatt-Latène-Kultur in Europa. Das erste Auftreten des Eisens in den anderen Weltteilen.) 149 Seiten, 60 Abbildungen. 1950. (*366*)

Vorgeschichte Europas von *F. Behn*. Völlig neue Bearbeitung der 7. Auflage der „Urgeschichte der Menschheit" von *M. Hoernes*. 125 Seiten, 47 Abbildungen. 1949. (*42*)

Der Eintritt der Germanen in die Geschichte von *J. Haller* †. 3. Auflage, durchgesehen von *H. Dannenbauer*. 120 Seiten, 6 Kartenskizzen. 1957. (*1117*)

Von den Karolingern zu den Staufern. Die altdeutsche Kaiserzeit (900—1250) von *J. Haller* †. 4., durchgesehene Auflage von *H. Dannenbauer*. 142 Seiten, 4 Karten. 1958. (*1065*)

Deutsche Geschichte im Zeitalter der Reformation, der Gegenreformation und des dreißigjährigen Krieges von *F. Hartung*. 129 Seiten. 1951. (*1105*)

Deutsche Geschichte von 1648—1740. Politischer und geistiger Wiederaufbau von *W. Treue*. 120 Seiten. 1956. (*35*)

Deutsche Geschichte von 1713—1806 von *W. Treue*. 168 Seiten. 1957. (*39*)

Deutsche Geschichte von 1807—1871 von *W. Treue*. In Vorbereitung. (*893*)

Deutsche Geschichte von 1871 bis zur Gegenwart von *W. Treue*. In Vorbereitung (*894*)

Quellenkunde der Deutschen Geschichte im Mittelalter (bis zur Mitte des 15. Jahrhunderts) von *K. Jacob* †. 3 Bände.

I: Einleitung. Allgemeiner Teil. Die Zeit der Karolinger. 6., neubearbeitete Auflage von *H. Hohenleutner*. In Vorbereitung. (*279*)

II: Die Kaiserzeit (911—1250). 5., neubearbeitete Auflage von *H. Hohenleutner*. 1959. In Vorbereitung. (*280*)

III: Das Spätmittelalter (vom Interregnum bis 1500). Herausgegeben von *F. Weden*. 152 Seiten. 1952. (*284*)

Geschichte Englands von *H. Preller*. 2 Bände.

I: bis 1815. 3., stark umgearbeitete Auflage. 135 Seiten, 7 Stammtafeln, 2 Karten. 1952. (*375*)

II: Von 1815 bis 1910. 2., völlig umgearbeitete Auflage. 118 Seiten, 1 Stammtafel, 7 Karten. 1954. (*1088*)

Römische Geschichte von *F. Altheim*. 4 Bände. 2., verbesserte Auflage.

I: Bis zur Schlacht bei Pydna (168 v. Chr.). 124 Seiten. 1956. (*19*)

II: Bis zur Schlacht bei Actium (31 v. Chr.). 129 Seiten. 1956. (*677*)

III: Bis zur Schlacht an der Milvischen Brücke (312 n. Chr.). 148 Seiten. 1958. (*679*)

IV: Bis zur Schlacht am Yarmuk (636 n. Chr.). In Vorbereitung. (*684*)

Geschichte der Vereinigten Staaten von Amerika von *O. Graf zu Stolberg-Wernigerode*. 192 Seiten, 10 Karten. 1956. (*1031/1031a*)

Deutsche Sprache und Literatur

Geschichte der Deutschen Sprache von *H. Sperber*. 3. Auflage, besorgt von *W. Fleischhauer*. 128 Seiten. 1958. (*915*)

Deutsches Rechtschreibungswörterbuch von *M. Gottschald* †. 2., verbesserte Auflage. 219 Seiten. 1953. (*200/200a*)

Deutsche Wortkunde. Eine kulturgeschichtliche Betrachtung des deutschen Wortschatzes von *A. Schirmer*. 3., durchgesehene Auflage. 109 Seiten. 1949. (*929*)

Deutsche Sprachlehre von *W. Hofstaetter*. 9., neubearbeitete Auflage von *G. Spree*. 144 Seiten. 1953. (*20*)

Stimmkunde für Beruf, Kunst und Heilzwecke von *H. Biehle*. 111 Seiten. 1955. (*60*)

Redetechnik. Einführung in die Rhetorik von *H. Biehle*. 115 Seiten. 1954. (*61*)

Sprechen und Sprachpflege (Die Kunst des Sprechens) von *H. Feist*. 2., verbesserte Auflage. 99 Seiten, 25 Abbildungen. 1952. (*1122*)

Deutsches Dichten und Denken von der germanischen bis zur staufischen Zeit von *H. Naumann* †. (Deutsche Literatur vom 5.—13. Jahrhundert.) 2., verbesserte Auflage. 166 Seiten. 1952. (*1121*)

Deutsches Dichten und Denken vom Mittelalter zur Neuzeit von *G. Müller* (1270 bis 1700). 2., durchgesehene Auflage. 159 Seiten. 1949. (*1086*)

Deutsches Dichten und Denken von der Aufklärung bis zum Realismus (Deutsche Literaturgeschichte von 1700—1890) von *K. Viëtor* †. 3., durchgesehene Auflage. 159 Seiten. 1958. (*1096*)

Der Nibelunge Nôt in Auswahl mit kurzem Wörterbuch von *K. Langosch*. 10., durchgesehene Auflage. 164 Seiten. 1956. (*1*)

Kudrun- und Dietrich-Epen in Auswahl mit Wörterbuch von *O. L. Jiriczek*. 6. Auflage, bearbeitet von *R. Wisniewski*. 173 Seiten. 1957. (*10*)

Wolfram von Eschenbach. Parzival. Eine Auswahl mit Anmerkungen und Wörterbuch von *H. Jantzen*. 2. Auflage, bearbeitet von *H. Kolb*. 128 Seiten. 1957. (*921*)

Hartmann von Aue. Der arme Heinrich nebst einer Auswahl aus der „Klage", dem „Gregorius" und den Liedern (mit einem Wörterverzeichnis) herausgegeben von *F. Maurer*. 96 Seiten. 1958. (*18*)

Gottfried von Strassburg von *F. Maurer*. 142 Seiten. 1959. (*22*)

Die deutschen Personennamen von *M. Gottschald* †. 2., verbesserte Auflage. 151 Seiten. 1955. (*422*)

Althochdeutsches Elementarbuch. Grammatik und Texte von *H. Naumann* † und *W. Betz*. 2., verbesserte und vermehrte Auflage. 156 Seiten. 1954. (*1111*)

Mittelhochdeutsche Grammatik von *H. de Boor* und *R. Wisniewski*. 141 Seiten. 1956. (*1108*)

Indogermanisch, Germanisch

Indogermanische Sprachwissenschaft von *H. Krahe*. 2 Bände. 3., neubearbeitete Aufl.
I: Einleitung und Lautlehre. 106 Seiten. 1958. (*59*)
II: Formenlehre. 100 Seiten. 1959. (*64*)

Gotisches Elementarbuch. Grammatik, Texte mit Übersetzung und Erläuterungen mit einer Einleitung von *H. Hempel*. 2., umgearbeitete Aufl. 165 Seiten. 1953. (*79*)

Germanische Sprachwissenschaft von *H. Krahe*. 2 Bände. 3., neubearbeitete Auflage.
I: Einleitung und Lautlehre. 147 Seiten. 1956. (*238*)
II: Formenlehre. 149 Seiten. 1957. (*780*)

Altnordisches Elementarbuch. Schrift, Sprache, Texte mit Übersetzung und Wörterbuch von *F. Ranke*. 2., durchgesehene Auflage. 146 Seiten. 1949. (*1115*)

Englisch, Romanisch

Altenglisches Elementarbuch von *M. Lehnert*. Einführung, Grammatik, Texte mit Übersetzung und Wörterbuch. 4., verbesserte Auflage. 178 Seiten. 1959. (*1125*)

Historische neuenglische Laut- und Formenlehre von *E. Ekwall*. 3., durchgesehene Auflage. 150 Seiten. 1956. (*733*)

Englische Phonetik von *H. Mutschmann* †. 117 Seiten. 1956. (*601*)

Englische Literaturgeschichte von *F. Schubel*. 4 Bände.
I: Die alt- und mittelenglische Periode. 163 Seiten. 1954. (*1114*)
II: Von der Renaissance bis zur Aufklärung. 160 Seiten. 1956. (*1116*)
III: Romantik und Viktorianismus. 1959. In Vorbereitung. (*1124*)

Beowulf von *M. Lehnert*. Eine Auswahl mit Einführung, teilweiser Übersetzung, Anmerkungen und etymologischem Wörterbuch. 3., verbesserte Auflage. 135 Seiten. 1959. (*1135*)

Shakespeare von *P. Meißner* †. 2. Auflage, neubearbeitet von *M. Lehnert*. 136 Seiten. 1954. (*1142*)

Italienische Literaturgeschichte von *K. Voßler* †. Unveränderter Nachdruck der 1927 erschienenen 4., durchgesehenen und verbesserten Auflage. 148 Seiten. 1948. (*125*)

Romanische Sprachwissenschaft von *H. Lausberg*. 2 Bände.
I: Einleitung und Vokalismus. 160 Seiten. 1956. (*128/128a*)
II: Konsonantismus. 95 Seiten. 1956. (*250*)

Griechisch, Lateinisch

Griechische Sprachwissenschaft von *W. Brandenstein*. 2 Bände.
I: Einleitung, Lautsystem, Etymologie. 160 Seiten. 1954. (*117*)
II: Wortbildung und Formenlehre. 192 Seiten. 1959. (*118/118a*)

Geschichte der griechischen Sprache. 2 Bände.
I: Bis zum Ausgang der klassischen Zeit von *O. Hoffmann* †. 3. Auflage bearbeitet von *A. Debrunner* †. 156 Seiten. 1953. (*111*)
II: Grundfragen und Grundzüge des nachklassischen Griechisch von *A. Debrunner* †. 144 Seiten. 1954. (*114*)

Geschichte der lateinischen Sprache von *F. Stolz* †. 3., stark umgearbeitete Auflage von *A. Debrunner* †. 136 Seiten. 1953. (*492*)

Hebräisch, Sanskrit, Russisch

Hebräische Grammatik von *G. Beer* †. 2 Bände. 2., völlig neubearbeitete Auflage von *R. Meyer*.
I: Schrift-, Laut- und Formenlehre I. 157 Seiten. 1952. (*763/763a*)
II: Formenlehre II. Syntax und Flexionstabellen. 195 Seiten. 1955. (*764/764a*)

Hebräisches Textbuch von *R. Meyer*. In Vorbereitung. (*769/769a*)

Sanskrit-Grammatik von *M. Mayrhofer*. 89 Seiten. 1953. (*1158*)

Russische Grammatik von *E. Berneker* †. 6., unveränderte Auflage von *M. Vasmer*. 155 Seiten. 1947. (*66*)

Erd- und Länderkunde

Afrika von *F. Jaeger*. Ein geographischer Überblick. 2 Bände. 2., umgearbeitete Auflage.
I: Der Lebensraum. 179 Seiten, 18 Abbildungen. 1954. (*910*)
II: Mensch und Kultur. 155 Seiten, 6 Abbildungen. 1954. (*911*)

Australien und Ozeanien von *H. J. Krug*. 176 Seiten, 46 Skizzen. 1953. (*319*)

Volkswirtschaft, Statistik, Publizistik

Allgemeine Betriebswirtschaftslehre von *K. Mellerowicz*. 4 Bände. 10., erweiterte und veränderte Auflage.
I: 224 Seiten. 1958. (*1008/1008a*)
II: 188 Seiten. 1959. (*1113/1113a*)
III: 260 Seiten. 1959. (*1114/1114a*)
IV: 209 Seiten. 1959. (*1186/1186a*)
Diese 4 Bände sind auch in Ganzleinen gebunden zum Preise von je DM 6,30 lieferbar.

Allgemeine Volkswirtschaftslehre von *A. Paulsen*. 4 Bände.
I: Grundlegung, Wirtschaftskreislauf. 3., durchgesehene und ergänzte Auflage. 148 Seiten. 1959. (*1169*)
II: Haushalte, Unternehmungen, Marktformen. 2., durchgesehene und ergänzte Auflage. 164 Seiten, 32 Abbildungen. 1958. (*1170*)
III: Produktionsfaktoren, Geldwesen. 184 Seiten. 1959. (*1171*)
IV: Gesamtbeschäftigung, Konjunktur, Wachstum. In Vorbereitung. (*1172*)

Finanzwissenschaft von *H. Kolms*. 4 Bände.
I: Grundlegung. Öffentliche Ausgaben. 160 Seiten. 1959. (*148*)
II: Erwerbseinkünfte, Gebühren und Beiträge; Allgemeine Steuerlehre. 1959. In Vorbereitung. (*391*)
III: Besondere Steuerlehre. In Vorbereitung. (*776*)
IV: Öffentlicher Kredit. Haushaltswesen. Finanzausgleich. In Vorbereitung. (*782*)

Finanzmathematik von *M. Nicolas*. 192 Seiten, 11 Tafeln, 8 Tabellen und 72 Beispiele. 1959. (*1183/1183a*)

Industrie- und Betriebssoziologie von *R. Dahrendorf*. 120 Seiten. 1956. (*103*)

Psychologie des Berufs- und Wirtschaftslebens von *W. Moede* †. 190 Seiten. 48 Abbildungen. 1958. (*851/851a*)

Allgemeine Methodenlehre der Statistik von *J. Pfanzagl*. 2 Bände.
I: 1959. In Vorbereitung. (*746/746a*)

Zeitungslehre von *E. Dovifat*. 2 Bände. 3., neubearbeitete Auflage.
I: Theoretische und rechtliche Grundlagen — Nachricht und Meinung — Sprache und Form. 148 Seiten. 1955. (*1039*)
II: Redaktion — Die Sparten: Verlag und Vertrieb, Wirtschaft und Technik, Sicherung der öffentlichen Aufgabe. 158 Seiten. 1955. (*1040*)

Naturwissenschaften

Mathematik

Geschichte der Mathematik von J. E. Hofmann. 3 Bände.
I: Von den Anfängen bis zum Auftreten von Fermat und Descartes. 200 Seiten. 1953. (*226*)
II: Von Fermat und Descartes bis zur Erfindung des Calculus und bis zum Ausbau der neuen Methoden. 109 Seiten. 1957. (*871*)
III: Von den Auseinandersetzungen um den Calculus bis zur französischen Revolution. 107 Seiten. 1957. (*882*)

Mathematische Formelsammlung von *F. Ringleb*. Vollständig umgearbeitete Neuausgabe des Werkes von *O. Th. Bürklen* †. 6., erweiterte Auflage. 278 Seiten, 37 Fig. 1956. (*51/51a*)

Fünfstellige Logarithmen von *A. Adler*. Mit mehreren graphischen Rechentafeln und häufig vorkommenden Zahlenwerten. 3. Auflage. 127 Seiten, 1 Tafel. 1959. (*425*)

Arithmetik von *P. B. Fischer* †. 3. Auflage von *H. Rohrbach*. 152 Seiten, 19 Abbildungen. 1958. (*47*)

Höhere Algebra von *H. Hasse*. 2 Bände. 4., durchgesehene Auflage.
I: Lineare Gleichungen. 152 Seiten. 1957. (*931*)
II: Gleichungen höheren Grades. 158 Seiten, 5 Figuren. 1958. (*932*)

Aufgabensammlung zur höheren Algebra von *H. Hasse* und *W. Klobe*. 2., verbesserte und vermehrte Auflage. 181 Seiten. 1952. (*1082*)

Elementare und klassische Algebra vom modernen Standpunkt von *W. Krull*. 2 Bände.
I: 2., erweiterte Auflage. 136 Seiten. 1952. (*930*)
II: 132 Seiten. 1959. (*933*)

Einführung in die Zahlentheorie von *A. Scholz* †. Überarbeitet und herausgegeben von *B. Schoeneberg*. 2. Auflage. 128 Seiten. 1955. (*1131*)

Formale Logik von *P. Lorenzen*. 165 Seiten. 1958. (*1176/1176a*)

Elemente der Funktionentheorie von *K. Knopp* †. 4. Auflage. 144 Seiten, 23 Figuren. 1955. (*1109*)

Funktionentheorie von *K. Knopp* †. 2 Bände.
I: Grundlagen der allgemeinen Theorie der analytischen Funktionen. 9., neubearbeitete Auflage. 144 Seiten, 8 Figuren. 1957. (*668*)
II: Anwendungen und Weiterführung der allgemeinen Theorie. 8./9. Auflage. 130 Seiten, 7 Figuren. 1955. (*703*)

Aufgabensammlung zur Funktionentheorie von *K. Knopp* †. 2 Bände.
I: Aufgaben zur elementaren Funktionentheorie. 5. Auflage. 135 Seiten. 1957. (*877*)
II: Aufgaben zur höheren Funktionentheorie. 5. Auflage. 144 Seiten. 1959. (*878*)

Gewöhnliche Differentialgleichungen von *G. Hoheisel*. 5., durchgesehene Auflage. 129 Seiten. 1956. (*920*)

Partielle Differentialgleichungen von *G. Hoheisel*. 3., neubearbeitete Auflage. 130 Seiten. 1953. (1003)

Aufgabensammlung zu den gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen von *G. Hoheisel*. 3., durchgesehene und verbesserte Auflage. 124 Seiten. 1958. (*1013*)

Integralgleichungen von *G. Hoheisel*. 2., durchgesehene Auflage. 1959. In Vorbereitg. (*1099*)

Mengenlehre von *E. Kamke*. 3., neubearbeitete Auflage. 194 Seiten, 6 Figuren. 1955. (*999/999a*)

Gruppentheorie von *L. Baumgartner*. 3., neubearbeitete Auflage. 110 Seiten, 3 Tafeln. 1958. (*837*)

Ebene und sphärische Trigonometrie von *G. Hessenberg* †. 5. Auflage, durchgesehen von *H. Kneser*. 172 Seiten, 60 Figuren. 1957. (*99*)

Darstellende Geometrie von *W. Haack*. 3 Bände.
- I: Die wichtigsten Darstellungsmethoden. Grund- und Aufriß ebenflächiger Körper. 2., durchgesehene und ergänzte Auflage. 113 Seiten, 120 Abbildungen. 1958. (*142*)
- II: Körper mit krummen Begrenzungsflächen. Kotierte Projektionen. 2., durchgesehene und ergänzte Auflage. 129 Seiten, 86 Abbildungen. 1959. (*143*)
- III: Axonometrie und Perspektive. 127 Seiten, 100 Abbildungen. 1957. (*144*)

Analytische Geometrie von *K. P. Grotemeyer*. 202 Seiten, 73 Abbildungen. 1958. (*65/65a*)

Nichteuklidische Geometrie. Hyperbolische Geometrie der Ebene von *R. Baldus* †. Durchgesehen und herausgegeben von *F. Löbell*. 3., verbesserte Auflage. 140 Seiten, 70 Figuren. 1953. (*970*)

Differentialgeometrie von *K. Strubecker* (früher *Rothe*). 3 Bände.
- I: Kurventheorie der Ebene und des Raumes. 150 Seiten, 18 Figuren. 1955. (*1113/1113a*)
- II: Theorie der Flächenmetrik. 195 Seiten, 14 Figuren. 1958. (*1179/1179a*)
- III: Theorie der Flächenkrümmung. 254 Seiten, 38 Figuren. 1959. (*1180/1180a*)

Einführung in die konforme Abbildung von *L. Bieberbach*. 5., erweiterte Auflage. 180 Seiten, 42 Figuren. 1956. (*768/768a*)

Vektoren und Matrizen von *S. Valentiner*. 8., erweiterte Auflage der „Vektoranalysis". Mit Anhang: Aufgaben zur Vektorrechnung von *H. König*. 202 Seiten, 35 Figuren. 1958. (*334/334a*)

Versicherungsmathematik von *F. Böhm*. 2 Bände.
- I: Elemente der Versicherungsrechnung. 3., vermehrte und verbesserte Auflage. Durchgesehener Neudruck. 151 Seiten. 1953. (*180*)
- II: Lebensversicherungsmathematik. Einführung in die technischen Grundlagen der Sozialversicherung. 2., verbesserte und vermehrte Auflage. 205 Seiten. 1953. (*917/917a*)

Finanzmathematik von *M. Nicolas*. 192 Seiten, 11 Tafeln, 8 Tabellen und 72 Beispiele. 1959. (*1183/1183a*)

Physik

Einführung in die theoretische Physik von *W. Döring*. 5 Bände.
- I: Mechanik. 119 Seiten, 29 Abbildungen. 1954. (*76*)
- II: Das elektromagnetische Feld. 122 Seiten, 15 Abbildungen. 1955. (*77*)
- III: Optik. 117 Seiten, 32 Abbildungen. 1956. (*78*)
- IV: Thermodynamik. 107 Seiten, 9 Abbildungen. 1956. (*374*)
- V: Statistische Mechanik. 114 Seiten, 12 Abbildungen. 1957. (*1017*)

Atomphysik von *K. Bechert* und *Ch. Gerthsen* †. 7 Bände.
- I: Allgemeine Grundlagen. 1. Teil. 4., durchgesehene Auflage von *A. Flammersfeld*. 124 Seiten, 35 Abbildungen. 1959. (*1009*)
- II: Allgemeine Grundlagen. 2. Teil. 3., umgearbeitete Auflage. 112 Seiten, 48 Abbildungen. 1955. (*1033*)
- III: Theorie des Atombaus. 1. Teil. 3., umgearbeitete Auflage. 148 Seiten, 16 Abbildungen. 1954. (*1123/1123a*)
- IV: Theorie des Atombaus. 2. Teil. 3., umgearbeitete Auflage. 170 Seiten, 14 Abbildungen. 1954. (*1165/1165a*)

Differentialgleichungen der Physik von *F. Sauter*. 3., durchgesehene und ergänzte Auflage. 148 Seiten, 16 Figuren. 1958. (*1070*)

Physikalische Formelsammlung von *G. Mahler* †. Neubearbeitet von *K. Mahler*. 10., durchgesehene Auflage. 153 Seiten, 69 Figuren. 1959. (*136*)

Physikalische Aufgabensammlung von *G. Mahler* †. Neubearbeitet von *K. Mahler*. Mit den Ergebnissen. 10., durchgesehene Auflage. 127 Seiten. 1959. (*243*)

Chemie

Geschichte der Chemie in kurzgefaßter Darstellung von *G. Lockemann*. 2 Bände.
I: Vom Altertum bis zur Entdeckung des Sauerstoffs. 142 Seiten, 8 Bildnisse. 1950. (*264*)
II: Von der Entdeckung des Sauerstoffs bis zur Gegenwart. 151 Seiten, 16 Bildnisse. 1955. (*265/265a*)

Anorganische Chemie von *W. Klemm*. 10., überarbeitete und ergänzte Auflage. 185 Seiten, 18 Abbildungen. 1958. (*37*)

Organische Chemie von *W. Schlenk*. 7., erweiterte Auflage. 269 Seiten, 16 Abbildungen. 1957. (*38/38a*)

Physikalische Methoden der Organischen Chemie von *G. Kresze*. 1959. In Vorbereitung. (*44*)

Allgemeine und physikalische Chemie von *W. Schulze*. 2 Bände. 4., neubearb. Aufl.
I: 139 Seiten, 10 Figuren. 1955. (*71*)
II: 176 Seiten, 37 Figuren. 1956. (*698/698a*)

Molekülbau. Theoretische Grundlagen und Methoden der Strukturermittlung von *W. Schulze*. 123 Seiten, 43 Figuren. 1958. (*786*)

Physikalisch-chemische Rechenaufgaben von *E. Asmus*. 3., verbesserte Auflage. 96 Seiten. 1958. (*445*)

Analytische Chemie von *J. Hoppe*. 2 Bände. 5., verbesserte Auflage.
I: Reaktionen. 135 Seiten. 1950. (*247*)

Maßanalyse. Theorie und Praxis der klassischen und der elektrochemischen Titrierverfahren von *G. Jander* und *K. F. Jahr*. 8., durchgesehene und ergänzte Auflage. 313 Seiten, 49 Figuren. 1959. (*221/221a*)

Thermochemie von *W. A. Roth* †. 2., verbesserte Auflage. 109 Seiten, 16 Figuren. 1952. (*1057*)

Stöchiometrische Aufgabensammlung von *W. Bahrdt* † und *R. Scheer*. Mit den Ergebnissen. 6., durchgesehene Auflage. 118 Seiten. 1957. (*452*)

Technologie

Die Chemie der Kunststoffe von *K. Hamann*. 1959. In Vorbereitung. (*1173*)

Warenkunde von *K. Hassak* † und *E. Beutel* †. 2 Bände.
I: Anorganische Waren sowie Kohle und Erdöl. 8. Auflage. Neubearbeitet von *A. Kutzelnigg*. 119 Seiten, 18 Figuren. 1958. (*222*)
II: Organische Waren. 7. Auflage. Neubearbeitet von *A. Kutzelnigg*. 143 Seiten, 32 Figuren. 1949. (*223*)

Die Fette und Öle von *K. Braun* †. 5., völlig neubearbeitete und verbesserte Auflage von *Th. Klug*. 145 Seiten. 1950. (*335*)

Die Seifenfabrikation von *K. Braun* †. 3., neubearbeitete und verbesserte Auflage von *Th. Klug*. 116 Seiten, 18 Abbildungen. 1953. (*336*)

Textilindustrie von *A. Blümcke*.
I: Spinnerei und Zwirnerei. 111 Seiten, 43 Abbildungen. 1954. (*184*)

Biologie

Einführung in die allgemeine Biologie und ihre philosophischen Grund- und Grenzfragen von *M. Hartmann*. 152 Seiten, 2 Abbildungen. 1956. (*96*)

Hormone von *G. Koller*. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. 187 Seiten, 60 Abbildungen, 19 Tabellen. 1949. (*1141*)

Fortpflanzung im Tier- und Pflanzenreich von *J. Hämmerling*. 2., ergänzte Auflage. 135 Seiten, 101 Abbildungen. 1951. (*1138*)

Geschlecht und Geschlechtsbestimmung im Tier- und Pflanzenreich von *M. Hartmann*. 2., verbesserte Auflage. 116 Seiten, 61 Abbildungen, 7 Tabellen. 1951. (*1127*)

Symbiose der Tiere mit pflanzlichen Mikroorganismen von *P. Buchner*. 2., verbesserte und vermehrte Auflage. 130 Seiten, 121 Abbildungen. 1949. (*1128*)

Mikrobiologie von *W. Schwartz* und *A. Müller*. 2 Bände. 2., verbesserte und ergänzte Auflage.
I: 1959. In Vorbereitung. (*1115*)

Botanik

Entwicklungsgeschichte des Pflanzenreiches von *H. Heil*. 2. Auflage. 138 Seiten, 94 Abbildungen, 1 Tabelle. 1950. (*1137*)

Morphologie der Pflanzen von *L. Geitler*. 3., umgearbeitete Auflage. 126 Seiten, 114 Abbildungen. 1953. (*141*)

Pflanzengeographie von *L. Diels* †. 5., völlig neubearbeitete Auflage von *F. Mattick*. 195 Seiten, 2 Karten. 1958. (*389/389a*)

Die Laubhölzer. Kurzgefaßte Beschreibung der in Mitteleuropa gedeihenden Laubbäume und Sträucher von *F. W. Neger* † und *E. Münch* †. 3., durchgesehene Auflage, herausgegeben von *B. Huber*. 143 Seiten, 63 Figuren, 7 Tabellen. 1950. (*718*)

Die Nadelhölzer (Koniferen) und übrigen Gymnospermen von *F. W. Neger* † und *E. Münch* †. 4. Auflage, durchgesehen und ergänzt von *B. Huber*. 140 Seiten, 75 Figuren, 4 Tabellen, 3 Karten. 1952. (*335*)

Pflanzenzüchtung von *H. Kuckuck*. 2 Bände.
I: Grundzüge der Pflanzenzüchtung. 3., völlig umgearbeitete und erweiterte Auflage. 132 Seiten, 22 Abbildungen. 1952. (*1134*)
II: Spezielle gartenbauliche Pflanzenzüchtung (Züchtung von Gemüse, Obst und Blumen). 178 Seiten, 27 Abbildungen. 1957. (*1178/1178a*)

Zoologie

Entwicklungsphysiologie der Tiere von *F. Seidel*. 2 Bände.
I: Ei und Furchung. 126 Seiten, 29 Abbildungen. 1953. (*1162*)
II: Körpergrundgestalt und Organbildung. 159 Seiten, 42 Abbildungen. 1953. (*1163*)

Das Tierreich
I: Einzeller, Protozoen von *E. Reichenow*. 115 Seiten, 59 Abbildungen. 1956. (*444*)
II: Schwämme und Hohltiere von *H. J. Hannemann*. 95 Seiten, 80 Abbildungen. 1956. (*442*)
III: Würmer. Platt-, Hohl-, Schnurwürmer, Kamptozoen, Ringelwürmer, Protracheaten, Bärtierchen, Zungenwürmer von *S. Jaeckel*. 114 Seiten, 36 Abbildungen. 1955. (*439*)
IV,1: Krebse von *H. E. Gruner* und *K. Deckert*. 114 Seiten, 43 Abbildungen. 1956. (*443*)
IV,2: Spinnentiere (Trilobitomorphen, Fühlerlose) und Tausendfüßler von *A. Kaestner*. 96 Seiten, 55 Abbildungen. 1955. (*1161*)
IV,3: Insekten von *H. von Lengerken*. 128 Seiten, 58 Abbildungen. 1953. (*394*)
V: Weichtiere. Urmollusken, Schnecken, Muscheln und Kopffüßer von *S. Jaeckel*. 92 Seiten, 34 Abbildungen. 1954. (*440*)
VI: Stachelhäuter. Tentakulaten, Binnenatmer und Pfeilwürmer von *S. Jaeckel*. 100 Seiten, 46 Abbildungen. 1955. (*441*)
VII,2: Fische von *D. Lüdemann*. 130 Seiten, 65 Abbildungen. 1955. (*156*)
VII,3: Lurche (Chordatiere) von *K. Herter*. 143 Seiten, 129 Abbildungen. 1955. (*847*)
VII,4: Kriechtiere (Chordatiere) von *K. Herter*. In Vorbereitung. (*447*)
VII,5: Vögel (Chordatiere) von *H.-A. Freye*. In Vorbereitung. (*869*)
VII,6: Säugetiere (Chordatiere) von *Th. Haltenorth*. In Vorbereitung. (*282*)

Land- und Forstwirtschaft

Landwirtschaftliche Tierzucht. Die Züchtung und Haltung der landwirtschaftlichen Nutztiere von *H. Vogel*. 139 Seiten, 11 Abbildungen. 1952. (*228*)

Kulturtechnische Bodenverbesserungen von *O. Fauser*. 2 Bände.
I: Allgemeines, Entwässerung. 5., verbesserte und vermehrte Auflage. 127 Seiten, 49 Abbildungen. 1959. (*691*)
II: Bewässerung, Ödlandkultur, Umlegung. 4., neubearbeitete Auflage. 150 Seiten, 67 Abbildungen. 1948. (*692*)

Agrikulturchemie von *K. Scharrer*. 2 Bände.
I: Pflanzenernährung. 143 Seiten. 1953. (*329*)
II: Futtermittelkunde. 192 Seiten. 1956. (*330/330a*)

Geologie, Mineralogie, Kristallographie

Geologie von *F. Lotze*. 176 Seiten, 80 Abbildungen. 1955. (*13*)

Mineral- und Erzlagerstättenkunde von *H. Huttenlocher* †. 2 Bände.
I: 128 Seiten, 34 Abbildungen. 1954. (*1014*)
II: 156 Seiten, 48 Abbildungen. 1954. (*1015/1015a*)

Allgemeine Mineralogie. 10., erweiterte Auflage der „Mineralogie" von *R. Brauns* †, bearbeitet von *K. F. Chudoba*. 120 Seiten, 120 Figuren, 1 Tafel, 3 Tabellen. 1958. (*29*)

Spezielle Mineralogie. 9., erweiterte Auflage der „Mineralogie" von *R. Brauns* †, bearbeitet von *K. F. Chudoba*. 133 Seiten, 105 Figuren. 1955. (*31*)

Petrographie (Gesteinskunde) von *W. Brühns* †. Neubearbeitet von *P. Ramdohr*. 4., durchgesehene Auflage. 104 Seiten, 10 Figuren. 1955. (*173*)

Kristallographie von *W. Brühns* †. 5. Auflage, neubearbeitet von *P. Ramdohr*. 109 Seiten, 164 Abbildungen. 1958. (*210*)

Einführung in die Kristalloptik von *E. Buchwald*. 4., verbesserte Auflage. 138 Seiten, 121 Figuren. 1952. (*619*)

Lötrohrprobierkunde. Mineraldiagnose mit Lötrohr- und Tüpfelreaktion. Von *M. Henglein*. 3., verbesserte Auflage. 91 Seiten, 11 Figuren. 1949. (*483*)

Technik

Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik von *M. Pirani*. 3., erweiterte Auflage bearbeitet von *J. Fischer* unter Benutzung der von *I. Runge* besorgten 2. Auflage. 216 Seiten, 104 Abbildungen. 1957. (*728/728a*)

Technische Tabellen und Formeln von *W. Müller*. 4., verbesserte und erweiterte Auflage von *E. Schulze*. 152 Seiten, 105 Figuren. 1951. (*379*)

Elektrotechnik

Grundlagen der allgemeinen Elektrotechnik von *O. Mohr*. 3 Bände.
I: Die drei Feldformen. 96 Seiten, 41 Abbildungen, 6 Tafeln. 1956. (*196*)
II: Die wichtigsten elektrischen und physikalischen Grunderscheinungen. 95 Seiten, 36 Abbildungen, 7 Tafeln. 1956. (*197*)
III: Schaltvorgänge, Widerstandsformen, Meßtechnik. 91 Seiten, 59 Abbildungen, 1 Tafel. 1956. (*198*)

Die Gleichstrommaschine von *K. Humburg*. 2 Bände. 2., durchgesehene Auflage.
I: 102 Seiten, 59 Abbildungen. 1956. (*257*)
II: 101 Seiten, 38 Abbildungen. 1956. (*881*)

Die synchrone Maschine von *K. Humburg*. Neudruck. 109 Seiten, 78 Abbildungen. 1951. (*1146*)

Induktionsmaschinen von *F. Unger*. 2., erweiterte Auflage. 142 Seiten, 49 Abbildungen. 1954. (*1140*)

Die komplexe Berechnung von Wechselstromschaltungen von *H. H. Meinke*. 2. Auflage. 180 Seiten, 120 Abbildungen. 1957. (*1136/1136a*)

Theoretische Grundlagen zur Berechnung der Schaltgeräte von *F. Kesselring*. 3. Auflage. 144 Seiten, 92 Abbildungen. 1950. (*711*)

Einführung in die Technik selbsttätiger Regelungen von *W. zur Megede*. 176 Seiten, 86 Abbildungen. 1956. (*714/714a*)

Elektromotorische Antriebe (Grundlagen für die Berechnung) von *A. Schwaiger*. 3., neubearbeitete Auflage. 96 Seiten, 34 Abbildungen. 1952. (*827*)

Überspannungen und Überspannungsschutz von *G. Fruhauf*. Durchgesehener Neudruck. 122 Seiten, 98 Abbildungen. 1950. (*1132*)

Maschinenbau

Metallkunde von *H. Borchers*. 2 Bände. 4. Auflage.
I: Aufbau der Metalle und Legierungen. 120 Seiten, 90 Abbildungen, 2 Tabellen. 1959. (*432*)
II: Eigenschaften, Grundzüge der Form- und Zustandsgebung. 180 Seiten, 107 Abbildungen, 10 Tabellen. 1959. (*433/433a*)

Die Werkstoffe des Maschinenbaues von *A. Thum* † und *C. M. v. Meysenbug*. 2 Bände.
I: Einführung in die Werkstoffprüfung. 2., neubearbeitete Auflage. 100 Seiten, 7 Tabellen, 56 Abbildungen. 1956. (*476*)
II: Die Konstruktionswerkstoffe. 132 Seiten, 40 Abbildungen. 1959. (*936*)

Dynamik von *W. Müller*. 2 Bände. 2., verbesserte Auflage.
I: Dynamik des Einzelkörpers. 128 Seiten, 48 Figuren. 1952. (*902*)
II: Systeme von starren Körpern. 102 Seiten, 41 Figuren. 1952. (*903*)

Technische Schwingungslehre von *L. Zipperer*. 2 Bände. 2., neubearbeitete Auflage.
I: Allgemeine Schwingungsgleichungen, einfache Schwinger. 120 Seiten, 101 Abbildungen. 1953. (*951*)
II: Torsionsschwingungen in Maschinenanlagen. 102 Seiten, 59 Abbildungen. 1955. (*961/961a*)

Werkzeugmaschinen für Metallbearbeitung von *K. P. Matthes*. 2 Bände.
I: 100 Seiten, 27 Abbildungen, 11 Zahlentafeln, 1 Tafelanhang. 1954. (*161*)
II: Fertigungstechnische Grundlagen der neuzeitlichen Metallbearbeitung. 101 Seiten, 30 Abbildungen, 5 Tafeln. 1955. (*162*)

Transformatoren von *W. Schäfer*. 3., überarbeitete und ergänzte Auflage. 130 Seiten, 73 Abbildungen. 1957. (*952*)

Das Maschinenzeichnen mit Einführung in das Konstruieren von *W. Tochtermann*. 2 Bände. 4. Auflage.
I: Das Maschinenzeichnen. 156 Seiten, 75 Tafeln. 1950. (*189*)
II: Ausgeführte Konstruktionsbeispiele. 130 Seiten, 58 Tafeln. 1950. (*190*)

Die Maschinenelemente von *E. A. vom Ende*. 3., verbesserte Auflage. 166 Seiten, 175 Figuren, 9 Tafeln. 1956. (*31/31a*)

Die Maschinen der Eisenhüttenwerke von *L. Engel*. 156 Seiten, 95 Abbildungen. 1957. (*383/383a*)

Walzwerke von *H. Sedlaczek* † unter Mitarbeit von *F. Fischer* und *M. Buch*. 232 Seiten, 157 Abbildungen. 1958. (*380/380a*)

Getriebelehre von *P. Grodzinski* †. 2 Bände. 2., neubearbeitete Auflage.
I: Geometrische Grundlagen. 159 Seiten, 142 Figuren. 1953. (*1061*)

Gießereitechnik von *H. Jungblath*. 2 Bände.
I: Eisengießerei. 126 Seiten, 44 Abbildungen. 1951. (*1159*)

Die Dampfkessel und Feuerungen einschließlich Hilfseinrichtungen in Theorie, Konstruktion und Berechnung von *W. Marcard* †. 2 Bände. 2. Auflage, neubearbeitet von *K. Beck*.
I: Die theoretischen Grundlagen, Wärme, Verbrennung, Wärmeübertragung. 150 Seiten, 42 Abbildungen, 16 Tabellen. 1951. (*9*)
II: Dampfkessel. 147 Seiten, 43 Abbildungen. 1952. (*321*)

Die Dampfturbinen. Ihre Wirkungsweise, Berechnung und Konstruktion von *C. Zietemann*. 3 Bände. 3., verbesserte Auflage.
I: Theorie der Dampfturbinen. 139 Seiten, 48 Abbildungen. 1955. (*274*)
II: Die Berechnung der Dampfturbinen und die Konstruktion der Einzelteile. 132 Seiten, 111 Abbildungen. 1956. (*715*)
III: Die Regelung der Dampfturbinen, die Bauarten, Turbinen für Sonderzwecke, Kondensationsanlagen. 126 Seiten, 90 Abbildungen. 1956. (*716*)

Verbrennungsmotoren von *W. Endres*. 3 Bände.
I: Überblick. Motor-Brennstoffe. Verbrennung im Motor allgemein, im Otto- und Diesel-Motor. 153 Seiten, 57 Abbildungen. 1958. (*1076/1076a*)
II: Die heutigen Typen der Verbrennungskraftmaschinen. In Vorbereitung. (*1184*)
III: Die Einzelteile des Verbrennungsmotors. In Vorbereitung. (*1185*)

Technische Thermodynamik von *W. Nußelt* †. 2 Bände.
I: Grundlagen. 4., verbesserte Auflage. 144 Seiten, 71 Abbildungen. 1956. (*1084*)
II: Theorie der Wärmekraftmaschinen. 5. Auflage. 1959. In Vorbereitung. (*1151*)

Autogenes Schweißen und Schneiden von *H. Niese*. 5. Auflage, neubearbeitet von *A. Kuchler*. 136 Seiten, 71 Figuren. 1953. (*499*)

Die elektrischen Schweißverfahren von *H. Niese*. 2. Auflage, neubearbeitet von *H. Dienst*. 136 Seiten, 58 Abbildungen. 1955. (*1020*)

Die Hebezeuge. Entwurf von Winden und Kranen von *G. Tafel*. 2., verbesserte Auflage. 176 Seiten, 230 Figuren. 1954. (*414/414a*)

Wasserbau

Wasserkraftanlagen von *A. Ludin* unter Mitarbeit von *W. Borkenstein*. 2 Bände.
I: Planung, Grundlagen und Grundzüge. 124 Seiten, 60 Abb. 1955. (*665*)
II: Anordnung und Ausbildung der Hauptbauwerke. 184 Seiten, 91 Abbildungen. 1958. (*666/666a*)

Verkehrswasserbau von *H. Debnert*. 3 Bände.
I: Entwurfsgrundlagen, Flußregelungen. 103 Seiten, 52 Abbildungen. 1950. (*585*)
II: Flußkanalisierung und Schiffahrtskanäle. 94 Seiten, 60 Abbildungen. 1950. (*597*)
III: Schleusen und Hebewerke. 98 Seiten, 70 Abbildungen. 1950. (*1152*)

Wehr- und Stauanlagen von *H. Debnert*. 134 Seiten, 90 Abbildungen. 1952. (*965*)

Talsperren von *F. Tolke*. 122 Seiten, 70 Abbildungen. 1953. (*1044*)

Hoch- und Tiefbau

Die wichtigsten Baustoffe des Hoch- und Tiefbaus von *O. Graf* †. 4., verbesserte Auflage. 131 Seiten, 63 Abbildungen. 1953. (*984*)

Baustoffverarbeitung und Baustellenprüfung des Betons von *A. Kleinlogel*. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. 126 Seiten, 35 Abbildungen. 1951. (*978*)

Festigkeitslehre. 2 Bände.

I: Elastizität, Plastizität und Festigkeit der Baustoffe und Bauteile von *W. Gehler* † und *W. Herberg*. Durchgesehener und erweiterter Neudruck. 159 Seiten, 118 Abbildungen. 1952. (*1144*)

II: Formänderung, Plätten, Stabilität und Bruchhypothesen von *W. Herberg* und *N. Dimitrov*. 187 Seiten, 94 Abbildungen. 1955. (*1145/1145a*)

Grundlagen des Stahlbetonbaus von *A. Troche*. 2., neubearbeitete und erweiterte Auflage. 208 Seiten, 75 Abbildungen, 17 Bemessungstafeln, 20 Rechenbeispiele. 1953. (*1078*)

Statik der Baukonstruktionen von *A. Teichmann*. 3 Bände.

I: Grundlagen. 101 Seiten, 51 Abbildungen, 8 Formeltafeln. 1956. (*119*)

II: Statisch bestimmte Stabwerke. 107 Seiten, 52 Abbildungen, 7 Tafeln. 1957. (*120*)

III: Statisch unbestimmte Systeme. 112 Seiten, 34 Abbildungen, 7 Formeltafeln. 1958. (*122*)

Fenster, Türen, Tore aus Holz und Metall. Eine Anleitung zu ihrer guten Gestaltung, wirtschaftlichen Bemessung und handwerksgerechten Konstruktion von *W. Wickop* †. 4., überarbeitete und ergänzte Auflage. 155 Seiten, 95 Abbildungen. 1955. (*1092*)

Heizung und Lüftung von *J. Körting* † und *W. Körting*. 2 Bände. 9., durchgesehene Auflage.

I: Das Wesen und die Berechnung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. 1959. In Vorbereitung. (*342*)

II: Die Ausführung der Heizungs- und Lüftungsanlagen. 1959. In Vorbereitung. (*343*)

Industrielle Kraft- und Wärmewirtschaft von *F. A. F. Schmidt* und *A. Beckert*. 167 Seiten, 73 Abbildungen. 1957. (*518/518a*)

Vermessungswesen

Photogrammetrie von *G. Lehmann*. 1959. In Vorbereitung. (*1188/1188a*)

Vermessungskunde von *P. Werkmeister*. 3 Bände.

I: Stückvermessung und Nivellieren. 10., völlig neubearbeitete Auflage von *W. Großmann*. 143 Seiten, 117 Figuren. 1958. (*468*)

II: Horizontalaufnahmen und ebene Rechnungen. 8., völlig neubearbeitete Auflage von *W. Grossmann*. 133 Seiten, 97 Figuren. 1949. (*469*)

III: Trigonometrische und barometrische Höhenmessung. Tachymetrie und Topographie. 6. Auflage. 147 Seiten, 64 Figuren. 1949. (*862*)

Sammlung Göschen / Bandnummernfolge

1 Langosch, Der Nibelunge Nôt
3/3a v. Ende, Die Maschinenelemente
9 Marcard-Beck, Dampfkessel I
10 Jiriczek-Wisniewski, Kudrun- und Dietrich-Epen
13 Lotze, Geologie
18 Maurer, Hartmann von Aue
19 Altheim, Römische Geschichte I
20 Hofstaetter-Spree, Dt. Sprachlehre
22 Maurer, Gottfried von Strassburg
29 Brauns-Chudoba, Allg. Mineralogie
31 Brauns-Chudoba, Spez. Mineralogie
35 Treue, Dt. Geschichte von 1648 bis 1740
37 Klemm, Anorganische Chemie
38/38a Schlenk, Organische Chemie
39 Treue, Dt. Geschichte von 1713 bis 1806
42 Behn, Vorgeschichte Europas
44 Kresze, Physikalische Methoden d. r organischen Chemie
47 Fischer-Rohrbach, Arithmetik
51/51a Ringleb-Bürklen, Mathematische Formelsammlung
59 Krahe, Indogerm. Sprachwissensch. I
60 Biehle, Stimmkunde
61 Biehle, Redetechnik
64 Krahe, Indogerm. Sprachwissensch. II
65/65a Grotemeyer, Analyt. Geometrie
66 Berneker-Vasmer, Russische Grammatik
71 Schulze, Allgemeine und physikalische Chemie I
76 Döring, Einführung in die theoret. Physik I
77 Döring, Einführung in die theoret. Physik II
78 Döring, Einführung in die theoret. Physik III
79 Hempel, Gotisches Elementarbuch
80 Weigert, Stilkunde I
96 Hartmann, Einf. i. d. allgem. Biologie
99 Hessenberg-Kneser, Ebene und sphär. Trigonometrie
101 v. Wiese, Soziologie
103 Dahrendorf, Industrie- und Betriebssoziologie
104/104a Hofstätter, Sozialpsychologie
111 Hoffmann-Debrunner, Gesch. der griechischen Sprache I
114 Debrunner, Gesch. der griechischen Sprache II
117 Brandenstein, Griechische Sprachwissenschaft I
118/118a Brandenstein, Griechische Sprachwissenschaft II
119 Teichmann, Statik der Baukonstruktionen I
120 Teichmann, Statik der Baukonstruktionen II
122 Teichmann, Statik der Baukonstruktionen III
125 Vossler, Ital. Literaturgeschichte
128/128a Lausberg, Romanische Sprachwissenschaft I
136 Mahler, Physikalische Formelsammlung
141 Geitler, Morphol. der Pflanzen
142 Haack, Darst. Geometrie I
143 Haack, Darst. Geometrie II
144 Haack, Darst. Geometrie III
145 Weimer, Gesch. der Pädagogik
148 Kolms, Finanzwissenschaft I
156/156a Landmann, Philosophische Anthropologie
170 Oehlmann, Musik des 19. Jahrh.
171/171a Oehlmann, Musik des 20. Jahrh.
173 Bruhns-Ramdohr, Petrographie
180 Böhm, Versicherungsmathematik I
184 Blümcke, Textilindustrie I
196 Mohr, Grundlagen der Elektrotechnik I
197 Mohr, Grundlagen der Elektrotechnik II
198 Mohr, Grundlagen der Elektrotechnik III
200/200a Gottschald, Dt. Rechtschreibungswörterbuch
210 Bruhns-Ramdohr, Kristallographie
220/220a Moser, Allg. m. Musiklehre
221/221a Jander-Jahr, Maßanalyse
222 Hassak-Beutel, Warenkunde I
223 Hassak-Beutel, Warenkunde II
226 Hofmann, Geschichte d. Mathematik I
228 Vogel, Landw. Tierzucht
231/231a Ehrlich, Geschichte Israels
238 Krahe, German. Sprachwiss. I
243 Mahler, Physikal. Aufgabensammlung
247 Hoppe, Analytische Chemie I

250 Lausberg, Romanisch. Sprachwissenschaft II
257 Humburg, Gleichstrommaschine I
264 Lockemann, Geschichte der Chemie I
265/265a Lockemann, Geschichte der Chemie II
270 Kirn, Einführung in die Geschichtswissenschaft
274 Zietemann, Dampfturbinen I
279 Jacob, Quellenkunde der deutschen Geschichte I
280 Jacob-Hohenleutner, Quellenkunde der deutschen Geschichte II
281 Leisegang, Einführung in die Philosophie
282 Haltenorth, Säugetiere
284 Jacob-Weden, Quellenkunde der deutschen Geschichte III
318/318a Schmidt-Beckers, Industrielle Kraft- und Wärmewirtschaft
319 Krug, Australien und Ozeanien
329 Scharrer, Agrikulturchemie I
330/330a Scharrer, Agrikulturchemie II
335 Braun-Klug, Fette und Öle
336 Braun-Klug, Seifenfabrikation
342 Körting, Heizung und Lüftung I
343 Körting, Heizung und Lüftung II
344 Moser, Musikästhetik
354/354a Valentiner-König, Vektoren und Matrizen
355 Neger-Münch, Nadelhölzer
356 Lüdemann, Fische
374 Döring, Einführung in die theoret. Physik IV
375 Preller, Geschichte Englands I
389/389a Diels-Mattick, Pflanzengeographie
391 Kolms, Finanzwissenschaft II
394/394a Schilling, Von der Renaissance bis Kant
414/414a Tafel, Hebezeuge
422 Gottschald, Deutsche Personennamen
423 Adler, Fünfstellige Logarithmen
432 Borchers, Metallkunde I
433/433a Borchers, Metallkunde II
439 Jaeckel, Würmer
440 Jaeckel, Weichtiere
441 Jaeckel, Stachelhäuter
442 Hannemann, Schwämme und Hohltiere
443 Gruner-Deckert, Krebse
444 Reichenow, Einzeller
445 Asmus, Physikal.-chem. Rechenaufgaben
447 Herter, Kriechtiere
452 Bahrdt-Scheer, Stöchiometrische Aufgabensammlung
468 Werkmeister-Grossmann, Vermessungskunde I
469 Werkmeister-Grossmann, Vermessungskunde II
476 Thum-Meyenburg, Die Werkstoffe des Maschinenbaues I
483 Henglein, Lötrohrprobierkunde
492 Stolz-Debrunner, Geschichte der lateinischen Sprache
499 Niese-Kuchler, Autogenes Schweißen
500 Simmel, Hauptprobleme der Philosophie
521 Marcard-Beck, Dampfkessel II
536 Lehmann, Kant
538 Rumpf, Archäologie I
539 Rumpf, Archäologie II
561 Matthes, Werkzeugmaschinen I
562 Matthes, Werkzeugmaschinen II
564 Behn, Kultur der Urzeit I
565 Behn, Kultur der Urzeit II
566 Behn, Kultur der Urzeit III
571 Lehmann, Philosophie des 19. Jahrhunderts I
576/576a Moser, Gesangskunst
579 Muller-Schulze, Techn. Tabellen
580/580a Sedlaczek-Fischer-Buch, Walzwerke
583/583a Engel, Maschinen der Eisenhüttenwerke
585 Dehnert, Verkehrswasserbau I
589 Tochtermann, Maschinenzeichnen I
590 Tochtermann, Maschinenzeichnen II
594 v. Lengerken, Insekten
597 Dehnert, Verkehrswasserbau II
601 Mutschmann, Engl. Phonetik
619 Buchwald, Kristalloptik
665 Ludin-Borkenstein, Wasserkraftanlagen I
666/666a Ludin-Borkenstein, Wasserkraftanlagen II
668 Knopp, Funktionentheorie I
677 Altheim, Römisch. Geschichte II
679 Altheim, Römische Geschichte III
684 Altheim, Römische Geschichte IV
691 Fauser, Kulturtechn. Bodenverbesserungen I

692 Fauser, Kulturtechn. Bodenverbesserungen II
698/698a Schulze, Allgemeine und physikalische Chemie II
703 Knopp, Funktionentheorie II
709 Lehmann, Philosophie des 19. Jahrhunderts II
711 Kesselring, Berechnung der Schaltgeräte
714/714a zur Megede, Technik selbsttätiger Regelungen
715 Zietemann, Dampfturbinen II
716 Zietemann, Dampfturbinen III
718 Neger-Münch, Laubhölzer
728/728a Pirani-Fischer, Graph. Darstellung in Wissenschaft und Technik
735 Ekwall, Historische neuengl. Laut- und Formenlehre
746/746a Pfanzagl, Allg. Methodenlehre der Statistik I
763/763a Beer-Meyer, Hebräische Grammatik I
764/764a Beer-Meyer, Hebräische Grammatik II
768/768a Bieberbach, Einführung in die konforme Abbildung
769/769a Meyer, Hebräisches Textbuch
776 Kolms, Finanzwissenschaft III
780 Krahe, German. Sprachwiss. II
781 Weigert, Stilkunde II
782 Kolms, Finanzwissenschaft IV
786 Schulze, Molekülbau
807 Kropp, Erkenntnistheorie I
809 Moser, Harmonielehre I
826 Koch, Philosophie des Mittelalters
827 Schwaiger Elektromotorische Antriebe
831 Erismann, Allgemeine Psychologie I
832/832a Erismann, Allgemeine Psychologie II
833 Erismann, Allgemeine Psychologie III
837 Baumgartner, Gruppentheorie
845 Lehmann, Philosophie im ersten Drittel des 20. Jahrhunderts I
847 Herter, Lurche
851/851a Moede, Psychologie des Berufs- und Wirtschaftslebens
857 Capelle, Griech. Philosophie I
858 Capelle, Griech. Philosophie II
859 Capelle, Griech. Philosophie III
862 Werkmeister, Vermessungskunde III
683 Capelle, Griech. Philosophie IV
869 Freye, Vögel
875 Hofmann, Geschichte der Mathematik II
877 Knopp, Aufgabensammlung zur Funktionentheorie I
878 Knopp, Aufgabensammlung zur Funktionentheorie II
881 Humburg, Gleichstrommaschine II
882 Hofmann, Geschichte der Mathematik III
893 Treue, Dt. Geschichte von 1807 bis 1871
894 Treue, Dt. Geschichte von 1871 bis zur Gegenwart
902 Müller, Dynamik I
903 Müller, Dynamik II
910 Jaeger, Afrika I
911 Jaeger, Afrika II
915 Sperber-Fleischhauer, Geschichte der Deutschen Sprache
917/917a Böhm, Versicherungsmathematik II
920 Hoheisel, Gewöhnliche Differentialgleichungen
921 Jantzen-Kolb, W. v. Eschenbach. Parzival
929 Schirmer, Deutsche Wortkunde
930 Krull, Elementare und klassische Algebra I
931 Hasse, Höhere Algebra I
932 Hasse, Höhere Algebra II
933 Krull, Elementare und klassische Algebra II
936 Thum-Meysenbug, Werkstoffe des Maschinenbaues II
952 Schäfer, Transformatoren
953 Zipperer, Techn. Schwingungslehre I
961/961a Zipperer, Techn. Schwingungslehre II
965 Dehnert, Wehr- und Stauanlagen
970 Baldus-Löbell, Nichteuklidische Geometrie
978 Kleinlogel, Baustoffverarbeitung und Baustellenprüfung des Betons
984 Graf, Baustoffe des Hoch- und Tiefbaues
999/999a Kamke, Mengenlehre
1000 Jaspers, Geistige Situation der Zeit
1003 Hoheisel, Partielle Differentialgleichungen
1008/1008a Mellerowicz, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre I

1009 Bechert-Gerthsen, Atomphysik I
1014 Huttenlocher, Mineral- und Erzlagerstättenkunde I
1015/1015a Huttenlocher, Mineral- und Erzlagerstättenkunde II
1017 Döring, Einführung in die theoret. Physik V
1020 Niese-Dienst, Elektrische Schweißverfahren
1031/1031a Apel-Ludz, Philosophisches Wörterbuch
1033 Bechert-Gerthsen, Atomphysik II
1034 Kranefeldt-Jung, Therapeutische Psychologie
1035 Altheim, Römische Religionsgeschichte I
1039 Dovifat, Zeitungslehre I
1040 Dovifat, Zeitungslehre II
1044 Tölke, Talsperren
1045 Schubert, Technik des Klavierspiels
1051/1051a Stolberg-Wernigerode, Gesch. der Verein. Staaten von Amerika
1052 Altheim, Römische Religionsgeschichte II
1057 Roth, Thermochemie
1059 Hoheisel, Aufgabensammlung zu den gewöhnlichen und partiellen Differentialgleichungen
1061 Grodzinski, Getriebelehre I
1065 Haller-Dannenbauer, Von den Karolingern zu den Staufern
1070 Sauter, Differentialgleichungen der Physik
1076/1076a Endres, Verbrennungsmotoren I
1078 Troche, Stahlbetonbau
1082 Hasse-Klobe, Aufgabensammlung zur höheren Algebra
1084 Nußelt, Technische Thermodynamik I
1085 Lietzmann-Aland, Zeitrechnung
1086 Müller, Dt. Dichten und Denken
1088 Preller, Geschichte Englands II
1092 Wickop, Fenster, Türen, Tore
1094 Hernried, System Modulation
1096 Viëtor, Deutsches Dichten und Denken
1099 Hoheisel, Integralgleichungen
1105 Hartung, Dt. Geschichte im Zeitalter der Reformation
1108 de Boor-Wisniewski, Mittelhochdeutsche Grammatik
1109 Knopp, Elemente der Funktionentheorie
1111 Naumann-Betz, Althochdeutsches Elementarbuch
1113/1113a Strubecker, Differentialgeometrie I
1114 Schubel, Englische Literaturgeschichte I
1115 Ranke, Altnord. Elementarbuch
1116 Schubel, Englische Literaturgeschichte II
1117 Haller-Dannenbauer, Eintritt der Germanen in die Geschichte
1121 Naumann, Dt. Dichten und Denken
1122 Feist, Sprechen und Sprachpflege
1123/1123a Bechert-Gerthsen, Atomphysik III
1124 Schubel, Englische Literaturgeschichte III
1125 Lehnert, Altengl. Elementarbuch
1127 Hartmann, Geschlecht und Geschlechtsbestimmung im Tier- und Pflanzenreich
1128 Buchner, Symbiose der Tiere mit pflanzl. Mikroorganismen
1130 Dibelius, Jesus
1131 Scholz-Schoeneberg, Einführung in die Zahlentheorie
1132 Fruhauf, Überspannungen und Überspannungsschutz
1134 Kuckuck, Pflanzenzüchtung I
1135 Lehnert, Beowulf
1137 Heil, Entwicklungsgeschichte des Pflanzenreiches
1138 Hämmerling, Fortpflanzung im Tier- und Pflanzenreich
1140 Unger, Induktionsmaschinen
1141 Koller, Hormone
1142 Meissner-Lehnert, Shakespeare
1144 Gehler-Herberg, Festigkeitslehre I
1145/1145a Herberg-Dimitrov, Festigkeitslehre II
1146 Humburg, Synchrone Maschine
1147 v. Waltershausen, Kunst des Dirigierens
1148 Pepping, Der polyphone Satz I
1151 Nußelt, Technische Thermodynamik II
1152 Dehnert, Verkehrswasserbau III
1153/1153a Mellerowicz, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre II

1154/1154a Mellerowicz, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre III
1155 Schwartz-Müller, Mikrobiologie I
1156/1156a Meinke, Komplexe Berechn. von Wechselstromschaltungen
1158 Mayrhofer, Sanskrit-Grammatik
1159 Jungbluth, Gießereitechnik I
1160 Dibelius-Kümmel, Paulus
1161 Kaestner, Spinnentiere
1162 Seidel, Entwicklungsphysiologie der Tiere I
1163 Seidel, Entwicklungsphysiologie der Tiere II
1164/1164a Pepping, Der polyphone Satz II
1165/1165a Bechert-Gerthsen, Atomphysik IV
1169 Paulsen, Allgemeine Volkswirtschaftslehre I
1170 Paulsen, Allgemeine Volkswirtschaftslehre II
1171 Paulsen, Allgemeine Volkswirtschaftslehre III
1172 Paulsen, Allgemeine Volkswirtschaftslehre IV
1173 Hamann, Chemie der Kunststoffe
1175 Specht, Empirische Sozialforschung
1176/1176a Lorenzen, Formale Logik
1178/1178a Kuckuck, Pflanzenzüchtung II
1179/1179a Strubecker, Differentialgeometrie II
1180/1180a Strubecker, Differentialgeometrie III
1183/1183a Nicolas, Finanzmathematik
1184 Endres, Verbrennungsmotoren II
1185 Endres, Verbrennungsmotoren III
1186/1186a Mellerowicz, Allgemeine Betriebswirtschaftslehre IV
1187 Lau, Luther
1188 Lehmann, Photogrammetrie

Autorenregister

Adler 10
Aland 5
Altheim 4, 6
Apel 3
Asmus 12
Bahrdt 12
Baldus 11
Baumgartner 10
Bechert 11
Beck 17
Beckers 18
Beer 8
Behn 5
Berneker 8
Betz 7
Beutel 12
Bieberbach 11
Biehle 6
Blumcke 13
Böhm 11
de Boor 7
Borchers 16
Borkenstein 17
Brandenstein 8
Braun 13
Brauns 15
Bruhns 15
Buch 16
Buchner 13
Buchwald 15
Bürklen 10
Capelle 3
Chudoba 15
Dahrendorf 4, 9
Dannenbauer 5
Debrunner 8
Deckert 14
Dehnert 17
Dibelius 4
Diels 13
Dienst 17
Dimitrov 18
Döring 11
Dovifat 9
Ehrlich 4
Ekwall 7
Ende, vom 16
Endres 17
Engel 16
Erismann 4
Fauser 14
Feist 6
Fischer, F. 16
Fischer, J. 15
Fischer, P. B. 10
Flammersfeld 11
Fleischhauer 6
Freye 14
Fruhauf 16
Gehler 18
Geitler 13
Gerthsen 11
Gottschald 6, 7
Graf 18
Grodzinski 16
Grossmann 18
Grotemeyer 11
Gruner 14
Haack 11
Hämmerling 13
Haller 5
Haltenorth 14
Hamann 12
Hannemann 14
Hartmann 13
Hartung 5
Hassak 12
Hasse 10

Heil 13
Hempel 7
Henglein 15
Herberg 18
Hemried 4
Herter 14
Hessenberg 10
Hoemes 5
Hoffmann 8
Hofmann 9
Hofstätter 4
Hofstaetter 6
Hoheisel 10
Hohenleutner 6
Hoppe 12
Huber 13
Humburg 15
Huttenlocher 14
Jacob 6
Jaeckel 14
Jaeger 8
Jahr 12
Jander 12
Jantzen 7
Jaspers 3
Jiriczek 7
Jung 3
Jungbluth 17
Kaestner 14
Kamke 10
Kesselring 15
Kirn 5
Kleinlogel 18
Klemm 12
Klobe 10
Klug 13
Kneser 10
Knopp 10
Koch 3
König 11
Körting 18
Kolb 7
Koller 13
Kolms 9
Krahe 7
Kranefeldt 3
Kresze 12
Kropp 3
Krug 8
Krull 10
Kuckuck 13
Kuchler 17
Kümmel 4
Kutzelnigg 12
Landmann 3
Langosch 7
Lau 4
Lausberg 8
Lehmann, G. 3
Lehmann, G. 18
Lehnert 7, 8
Leisegang 3
Lengerken, von 14
Lietzmann 5
Lockemann 12
Löbell 11
Lorenzen 3, 10
Lotze 14
Ludin 17
Ludz 3
Lüdemann 14
Mahler 12
Marcard 17
Matthes 16
Mattick 13
Maurer 7
Mayrhofer 8
Megede, zur 15
Meinke 15
Meissner 8
Mellerowicz 9
Meyer 8
Meysenbug 16
Moede 4, 9
Mohr 15
Moser 4
Müller, A. 13
Müller, G. 6
Müller, W. 15
Münch 13
Mutschmann 7
Naumann 6, 7
Neger 13
Nicolas 9, 11
Niese 17
Nußelt 17
Oehlmann 4
Paulsen 9
Pepping 4
Pfanzagl 9
Pirani 15
Preller 6
Ramdohr 15
Ranke 7
Reichenow 14
Ringleb 10
Rohrbach 10
Roth 12
Rumpf 5
Runge 15
Sauter 11
Schäfer 16
Scharrer 14
Scheer 12
Schilling 3
Schirmer 6
Schlenk 12
Schmidt 18
Schoeneberg 10
Scholz 10
Schubel 7
Schubert 5
Schulze, E. 15
Schulze, W. 12
Schwartz 13
Schwaiger 16
Sedlaczek 16
Seidel 14
Simmel 3
Specht 4
Sperber 6
Spree 6
Stolberg-Wernigerode zu 6
Stolz 8
Strubecker 11
Tafel 17
Teichmann 18
Thum 16
Tochtermann 16
Tölke 17
Treue 5, 6
Troche 18
Unger 15
Valentiner 11
Vasmer 8
Vietor 6
Vogel 14
Vossler 8
Waltershausen, von 5
Weden 6
Weigert 5
Weimer 3
Werkmeister 18
Wickop 18
Wiese, von 4
Wisniewski 7
Zietemann 17
Zipperer 16

200 000 60/59 Printed in Germany